الدكتور علي رأفت

فن العمارة والخرسانة المسلّحة

فن العمارة والخرسانة المسلحة

أشكال إنشائية ومساقط وتعبيرات جديدة جميعها تحققت باستعمال الخرسانة المسلحة فى العمارة . وفى نصف قرن مضى منذ الاعتراف بها كمادة إنشائية تطورت الخرسانة المسلحة إلى مادة ثورية إلى حد أن فاصلا واضحاً قد تولد بين العمارة والإنشاء . وهذا الكتاب هو الصلة الوحيدة المتوفرة لدينا بين الفن المعمارى وبين المبادىء الإنشائية التى استحدثتها الخرسانة المسلحة . وفى لغة بسيطة حاول المؤلف أن يشرح تأثير هذه المبادئ الإنشائية على التصميم المعمارى .

وقد ظهرت أهم التطورات الإنشائية التى أثرت على مجال التصميم المعمارى اليوم فى مجال الإنشاء بالصدفات القشرية . . . التشكيلات بالأسطح الفعالة المفردة والمزدوجة الانحناء . . . الإنشاء بالوحدات السابقة التجهيز والسابقة الإجهاد ، كما طورها نيرفى وكاندلا وتروخا وغيرهم . . . جميعها غيرت وجه العمارة فى أغلب بلاد العالم .

وقد أعطت اللوحات المرسومة والصور بعداً آخر لنص هذا الكتاب ؛ مئات الرسومات (عملت خصيصاً بواسطة المؤلف لهذا الكتاب) لاقتراحات للمؤلف وصور لمبانى فى مختلف بقاع الأرض وضحت المبادئ وتطبيقاتها العملية .

وقد اشتمل الكتاب على بحث تاريخى عن المحاولات الإنشائية والمعمارية الأولى بالخرسانة المسلحة . وقد ركز المؤلف فيه على مناقضة معلومات فى هذا المجال انتقلت إلينا من مؤلف لآخر دون مناقشة عن مدى صحتها التاريخية . كما أكمل المؤلف نقصاً فى تاريخ تطور الخرسانة المسلحة عن دور الولايات المتحدة فيه .

والناشر على يقين أن المعماريين والإنشائيين على السواء سيجدوا أن الكتاب ضرورة لهم فى مزاولتهم لمهنتهم ورائداً لخطوط تطور عمارة المستقبل .

فنّ العمارة والخرسانة المسلّحة

الناشر :
مؤسسة الحلبي وشركاه للنشر والتوزيع
١٤ جواد حسني - القاهرة

هـذا الكتـاب

اجتمع لهذا الكتاب القيم من أصالة البحث ودقة المعلومات فى فن العمارة والخرسانة المسلحة ما جعله جديراً بالنشر باللغة العربية ، حتى يتسنى لأبناء الأمة العربية الإفادة منه فى مجال البناء والتشييد ، وخاصة أن المكتبة العربية ما زالت بحاجة ماسة إلى هذا النوع من الدراسة .

وميزة هذا الكتاب أن مؤلفه الأستاذ الدكتور على رأفت الأستاذ بكلية الهندسة جامعة القاهرة — وهو مهندس عربى من ذوى الكفايات المتخصصة — قد نشره فى طبعته الأولى باللغة الإنجليزية فى الولايات المتحدة . وقد لاقى الكتاب إقبالا كبيراً فى طبعته الإنجليزية لما له من قيمة علمية فذة ، مما حدا بمؤسسة فرانكلين . حرصاً على تزويد الخبرة العربية بما فيه من معلومات نادرة فريدة ، أن تطلب من المؤلف إعادة نشره لتضيف به جديداً إلى مكتبة الفن المعمارى فى بلادنا .

وقد رأى المؤلف إعادة كتابته مع تعديله ليتمشى مع آخر التطورات فى مجال عمارة الخرسانة المسلحة .

مؤسسة الحلبى وشركاه للنشر والتوزيع

مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر

الدكتور علي رأفت

فنّ العمارة والخرسانة المسلّحة

The following is a list of firms and offices whose help in providing pictures or information is deeply appreciated :

The American Concrete Institute
Ammann and Whitney, consulting engineers
Anshen & Allen, architects
The Architectural Forum
The Architectural Press
The Architectural Record
Max Bill, architect
The Barrel Vault Roof (Designs) Ltd.
Ove Arup and Partners, engineers
British Information Service, New-York
F.W. Dodge Corporation
Cement and Concrete Association
CIBA de Mexico, S.A.
Clements, architects
S.C. Johnson & Son, Inc.
J.L. Kier & Co.
Lone Star Company
Pier Luigi Nervi, engineer
Eliot Noyes, architect
A. Ortega, architect
Chr. Ostenfeld & Z. Jonson, consulting engineers
Portland Cement Association
Antonin Raymond & L.L. Rado, architects
Roberts & Shaeffer Company, consulting engineers
G.E. Kidder Smith, architect
Edward D. Stone, architect
E. Torroja, engineer
Universal Atlas Cement Company
Weed , Russell, Johnson Associates, architects and engineers
Yamasaki, Leinweber & Associates, architects and engineers.

محتويات الكتاب

الصفحة

مقدمة

ساعات وساعات انقضت تحت شمس القاهرة الذهبية فى مراقبة عمال ذوى طاقة لا تنتهى ، وصبر لا ينفد ، يرفعون ويقلبون فى سرعة ونشاط مزيجاً رمادياً من الزلط والرمل والأسمنت ليرقد فى قوالب صاغها المعمارى بإرادته . هذا المنظر اللافت لنظر المؤلف وغيره من صبية الحى كان كافياً ليتركوا ألعابهم ويتجمعوا حول العمال ليشتركوا معهم فى غنائهم الذى يصاحب كل دفعة من الجاروف .

وبعد سنين طويلة ما يزال المؤلف يحتفظ بمشاعر خاصة للخرسانة المسلحة ، مشاعر مرتبطة بالمرح والسرور والمسئولية المصاحبة للعمل الخلاق المبدع . وعندما حان الوقت لمتابعة الدراسة اتجه المؤلف إلى موضوعه المفضل بعد إشارة إليه من البروفسور تالبوت هاملين . وقد كان لسعة معلومات وتشجيع البروفسور هاملين أثر كبير فى بداية هذا العمل . وقد خسر المؤلف بوفاته صديقاً حميماً وأستاذاً جليلا .

مثل هذا العمل كان من الصعب تحقيقه بدون المساعدة الكريمة والعون الأدبى والمادى لعدد كبير من الأفراد والهيئات .

فإلى أساتذتى وزملائى بكلية الهندسة فى جامعة القاهرة أدين بأكثر مما أستطيع التعبير عنه لمساعدتهم طوال سنوات دراستى وزمالتى معهم فى هيئة التدريس ، وأخص منهم الأستاذ الراحل المرحوم على لبيب جبر والأستاذين محمد شريف نعمان ومصطفى شافعى والدكتور كمال الدين سامح والأستاذ يوسف شفيق . وإليهم وإلى باقى أعضاء هيئة التدريس بالكلية أتوجه بعرفانى وتقديرى .

وقد كانت السنوات التى قضيتها فى جامعة كولومبيا مصدراً لغنى العقل والقلب ، وإن المعونة الثقافية والمادية التى قدمها لى هذا المعهد قد ساعدت كثيراً على تكملة هذا البحث .

ويتجه شكرى الخاص إلى البروفيسور ليوبولد أرنود الذى ملأ عطفه وهدايته قلبى بأخلص مشاعر العرفان . كما أنى مدين البروفسور جيمس فتش والمرحوم البروفسور برونو فانارو لنصائحهم المتخصصة ، وقد كان لشرف مساعدتى للبروفيسور ماريو سالڤادورى فى محاضراته الشاملة عن الأسقف القشرية فضل كبير فى إصدار هذا الكتاب .

وإلى هيئة أساتذة وموظفى مكتبات آفرى وويرتحت خبرة البروفسور جيمس فان ديربول ومساعدة أدولف بلاتشيك أوجه شكرى لمساعداتهم فى السنين التى قضيتها بين المراجع القيمة التى تحتويها المكتبتان المعماريتان .

ولا أنسى عون ومساعدة عدد كبير من المكاتب والهيئات الهندسية المختصة ، فإلى هؤلاء وإلى خبرائهم أعبر عن شكرى الخالص ، وقد أدرجت بجوار هذه المقدمة كشفاً بأسماء هذه الهيئات .

وفى الختام أذكر صديقاً رحل عنا ، ورحل برحيله أستاذ كبير وأخ كريم خصنى بتشجيعه منذ رجوعى إلى أرض الوطن ، وكان عمله الذى أفنى فيه آخر قطرة من حياته هو نقل ثقافة وعلم الغرب إلى العربية الأخ الأستاذ حسن جلال العروسى ، وقد رأى أن الكتاب الذى ألفه عربى بلغة الغرب أجدر بالظهور بلغة المؤلف الأصلية . وقد تابعنى بصبر فى جميع مراحل إعداد طبعة مستجدة . وقد تطلبت الطبعة الحالية بالعربية إعادة الكتابة كاملة لكى يصدر الكتاب شاملا للتطورات الأخيرة فى عمارة الخرسانة المسلحة بين عامى ١٩٥٨/١٩٧٠ .

وإلى أساتذتى وزملائى وأصدقائى ليس لدىّ ما أضيفه إلا أن أقدم لهم نتيجة مساعداتهم على أمل أن ترضيهم قراءته بقدر ما أرضتنى كتابته .

دكتور على رأفت

القاهرة — ١٩٧٠

تقديم

الاهتمام المتزايد باستعمال الخرسانة المسلحة والمشاهد فى السنين القليلة الماضية فى الولايات المتحدة يتطلب يقظة من المعمارى والإنشائى لإمكانيات هذه المادة الإنشائية .

حقيقة إن عبقرية معمارية قد تدرك فى لمحة تطور هذه المادة على مدى الأعوام المائة الماضية ، وقد تستطيع أن تعبر عن إمكانياتها فى أشكال معمارية حية وإنشائية سليمة . غير أنه من الواضح أن المعمارى المعاصر يحتاج إلى توجيه فى تلمسه لميدان ما زال غريباً عليه إلى اليوم . ومن أحسن الوسائل لمثل هذا التوجيه اطلاعه على منظور شامل للاستعمالات الماضية والحالية للخرسانة فى العمارة . مثل هذا المنظور يشير بوضوح وبساطة إلى الاتجاهات الرئيسية للتطور ، ويوجه إلى احتمالات المستقبل :

لقد حاول الدكتور على رأفت بنجاح إعطاء المهندس المعمارى الأمريكى مثل هذا المنظور العام ، وإنى على ثقة بأن هذا الكتاب سيكون له أثر عميق فى استعمال الخرسانة فى الولايات المتحدة .

ومن الصعب إدراك أن تجاربنا فى معالجة المواد الإنشائية الأخرى المتباينة ، مثل الأحجار والطوب والمونة والحديد والألومنيوم لن تساعدنا بالضرورة على تفهمنا للخرسانة . فقد تعلمنا خلال الدراسات النظرية والتجارب الطويلة كيف نضع الوحدات الإنشائية الجاهزة والواردة من المصنع أو المنجم الواحدة فوق الأخرى ، كما كان اتجاهنا الأساسى نحو الإنشاءات هو تنسيق البلوكات تماماً كما يفعل الأطفال فى ألعابهم . وقد انحصر اهتمامنا الأكبر فى توصيل هذه الوحدات توصيلا سليماً ، وأعرنا الوحدات ذاتها اهتماماً أقل ، راضين باقتناع عن خواصها الهندسية والإنشائية . وقد طورت تجربتنا بالخرسانة طرقنا ومبادئنا الأساسية . فهذه مادة يجب أن نشكلها ولا تتطلب عمل وصلات تسمح بخلق منشأ متماسك . وبعد محاولات وتجارب لعديد من السنين بالكمرات والأعمدة أصبحنا — كما أحب أن أصف — مخلوقات وحيدة الأبعاد . وقد جابهتنا الخرسانة بالمشكلة التى لا يمكن تخطيها ، وهى التفكير الثلاثى الأبعاد مع احتمال الوصول إلى طريقة إنشائية تهيئ استمراراً ذا اتجاهين على الأقل .

وليس من المستغرب أن أغلبنا يشعر بعجزه أمام هذه المهمة ، فإن كمية الخلق والإبداع اللازمة لتحديد منشأ بالخرسانة أكبر بكثير من الكمية اللازمة لتجميع منشأ من الصلب .

---

* كتب البرفسور ماريو سالفادورى هذا التقديم للطبعة الأمريكية عام ١٩٥٨

والإنسان يحتار ويتردد عندما يجد أمامه حرية زائدة . فأحسن القصائد كتبت على قواعد وحدود صارمة على الكلام والوزن — كما كتبت أفضل الموسيقى عندما فرضت الأصول الهارمونية على التأليف الموسيقى (Fugue) . وانعدام القيود على التصميم الخرسانى كفيل بإزعاجنا وبإنتاج أعمال غير مرضية على وجه عام .

النظرة التاريخية ستساعدنا على إيجاد الطريق السليم لاتباعه فى التصميم الإنشائى بالخرسانة . وقارئ هذا الكتاب سيبهره التطور البطيء لعمارة الخرسانة ، وإن يضحك كما فعلت عندما علمت أنه فى التسعينيات بالقرن التاسع عشر صنعت فى فرنسا عربات تجرها الخيل من الخرسانة على نفس النمط الذى صنعت به عربات الصلب أو الخشب . ومن ناحية أخرى سيعجب القارئ باكتشاف أعمال عباقرة كمثل مايار — وفرنسينيه — ونيرفى وآخرين من المهندسين الذين توافرت لديهم الشجاعة على ترك حلول مهيئة لمواد أخرى للبحث عن حلول جديدة تعبر بنجاح عن إمكانيات الخرسانة المسلحة .

والخرسانة — وقد خلقت ثورة فى صناعة البناء — هى ككل الثورات قابلتها مشكلات صعبة ما زلنا عاجزين عن حلها . من هذه المشكلات مسألة التعاون بين المعمارى والإنشائى والمقاول . وأمثلة هذا الكتاب تظهر بوضوح أن بعض المنشآت الخرسانية الممتازة هى من أعمال أفراد جمعوا بين صفات المعمارى والإنشائى والمقاول — من هؤلاء نيرفى وكاندلا وتوروخا . ولكن عندما يتحتم على المعمارى أن يتعاون مع الإنشائى والمقاول فإنه لا يجد فى أغلب الأحوال لغة مشتركة ، فهو غير قادر على التعبير عن أفكاره للإنشائى بطريقة تسمح للإنشائى أن يهضمها ويناولها بدوره للمقاول . وفى أحوال كثيرة يكون عدم التفاهم راجعاً إلى رغبة المعمارى فى الانفراد بتصميم المنشأ ومجابهة الإنشائى والمقاول « بحقيقة واقعة » . ومن أهم وأقيم الاقتراحات التى قد نستخلصها من هذا الكتاب هو أنه من المستحيل خلق منشأ جميل بالخرسانة بدون استعداد من المعمارى للتعاون المبكر مع الإنشائى والمقاول . وقد خرجت إلينا أحسن الأعمال فى العمارة الحديثة كنتيجة للتعاون بين عبقرية الإنشائى والمقاول وهى ذات طابع تكنولوجى مع عبقرية المعمارى ذات الطابع الفنى . والمنشأ جزء حيوى فى أى مبنى خرسانى بحيث يكون الحل الإنشائى السليم هو فى أغلب الأحوال أكملها جمالا وأكثرها اقتصاداً .

وقد اهتم الدكتور رأفت فى هذا الكتاب بأكثر من الدور الإنشائى للخرسانة ، غير أنه وضع بحكمة بالغة تركيزاً كبيراً على المنشآت ؛ لأنه يدرك أنه إذا كان المنشأ الخرسانى معيباً فإن المبنى الذى يحمله لا يمكن أن يكون مبنى كاملا . هذا الدرس يجب أن يعيه جميع المعماريين الأمريكيين .

هناك أوجه أخرى عديدة لاستعمال الخرسانة تشمل احتمالاتها فى الألوان وأشكالها البلاستيكية ، وخواصها فى العزل الصوتى ، مما يجعل من المستحيل إحاطتها كلها فى كتاب واحد . ومن الواجب أن نكون شاكرين للدكتور رأفت لمجابهته المشكلات المنبثقة عن جميع الاتجاهات المتباينة للإنشاء الخرسانى ولتوضيحه المسائل والحلول المتاحة لنا فى الحاضر . وإنى على يقين أن عمله الحبيب سيدرس بعناية من جميع من يقدسون فى قلوبهم ازدهار عمارة جديدة .

ماريو سلفادورى

رئيس قسم الهندسة المعمارية

جامعة كولومبيا – بنيويورك

نيويورك ١٩٥٨

مـــدخـــل

بالمواد الأولية يقوم المعماريون بالخلق الفنى للفراغات المستعملة ، وتحكمهم فى هذه العملية الخواص الملموسة وغير الملموسة للمغلفات المادية . هذه الخواص تقترح ، وفى بعض الأحوال تفرض ، تنظيمات إنشائية ملائمة . والتنظيمات الإنشائية الجديدة عندما تستتب تخلق طرزاً معمارية خاصة . فالمصريون القدماء اتبعوا إنشاء حجرياً نقياً بالعمود والعتب ، والإغريق ابتدعوا «الجمالون» الخشبى . والرومان العقود الخرسانية . وقد خلق الإنشاء الهيكلى بالحجر تشكيلات العمارة القوطية ، وبالمواد القوية فى الشد والضغط تشكيلات العمارة المعاصرة .

والخرسانة المسلحة — وهى إحدى هذه الوسائل الأولية — نتاج للتطور التكنولوجى فى القرن التاسع عشر . وكمادة معمارية تمتاز بإمكانيات خاصة ؛ فرغم أنها تشترك مع الطين الذى استعمله قدماء المصريين والميسابوتيميون ، ومع الخرسانة التى طورها الفينيقيون والرومان فى الخواص البلاستيكية ، إلا أنها تمتاز عنهما بقدرتها على تحمل قوى الشد . هذه الميزة تفتح للخرسانة المسلحة اتجاهات جديدة فى تشكيل الفراغات وفى التعبير المعمارى . وقد تحققت فعلا مراحل من هذه الاتجاهات فى بقاع مختلفة من العالم .

والآن ، وعند نهاية القرن الأول من عمر الخرسانة المسلحة ، حان الوقت لكى نتريث قليلا لنرى أين نقف فى دورة نموها ؟ وأى الاتجاهات أخذنا ؟ وتحليل هذه الاتجاهات سيساعد بلا شك على تحديد إحساس بالاتجاه لمستقبل عمارة الخرسانة المسلحة * .

هذا الكتاب هو محاولة لتقديم وصف تحليلى للإمكانيات والمشكلات الإنشائية والمعمارية الكامنة فى الخرسانة المسلحة . وقد خصص الجزء الأول لبحث المقدمات الأساسية اللازمة لهذا التحليل . هذه

* نحن فى حاجة إلى مثل هذه الوقفة نتيجة لعدم وجود تحليل حديث واف لعمارة الخرسانة المسلحة ، ويمكن لكل باحث إدراك ذلك بسهولة ، فالمكتبة المعمارية خالية من كتب تبحث فى هذا الاتجاه بعد عام ١٩٢٨ . وقبل هذا التاريخ ظهرت كتب قليلة ، أقيمها من وجهة نظر المؤلف ، كتاب الدكتور جوليوس فيشر ولودويج هيلبرزيمر . ومن الأعمال المرموقة كتاب فرانسيس اونديردونك الصغير ١٩٢٨ وجيديون سنة ١٩٢٨ . ويمكن الرجوع لفهرس الكتب بخصوص العناوين . ومنذ ذلك التاريخ نوقش الموضوع جزئيا فى مقالات بالمجلات أوكتب ركزت على أمثلة أو اتجاهات معينة للتصميم .

المقدمات فى الغالب ذات طبيعة تاريخية تكنولوجية إقليمية . والمعلومات الحالية عن المراحل الأولى لتطور عمارة الخرسانة المسلحة مملوءة بالمتناقضات والفجوات . وقد خصص الفصلان الأول والثانى لملء بعض الفجوات ، وخاصة المتعلقة منها بدور المكتشفين الأمريكيين ، وكذلك لإزالة بعض الغموض والمعتقدات الخاطئة عن طريق ترتيب الاكتشافات الهامة فى تسلسل تاريخى إقليمى متتابع . ونتيجة للانقسام الذى ساد التطورين التكنولوجى والمعمارى فى القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين ، فقد وجد أنه من الأوفق معالجة الاثنين كل على حدة .

كذلك عولجت التطورات الأخيرة فى المواد وطرق التنفيذ والتصميم كعوامل تؤثر فى الشكل العام لعمارة الخرسانة المسلحة . إلا أن عوامل أخرى مؤثرة فى تغييرات محلية اعتبرت هامة وجديرة بالبحث فى آخر أبواب هذا الجزء .

وقد بنيت طريقة معالجة موضوعنا الأساسى — وهو عمارة الخرسانة المسلحة — على مبدأ أن العمارة هى فن إقامة منشآت تخلق فراغات انتفاعية بأشكال على درجة عالية من الجمال الحسى والتعبيرى . هذا التعريف يوجهنا إلى أقرب الطرق لمعالجة التحليل المقصود ، فعلينا أولا : أن نتعرف ونميز التكوينات الإنشائية التى خلقتها الخرسانة المسلحة . هذه التكوينات تقودنا فعلا إلى دراسة مدى تأثيرها فى المعالجة المادية للفراغات التى تغلفها مثل هذه المنشآت . وفى الأبواب الأخيرة سنناقش الاحتمالات الجمالية لعمارة الخرسانة المسلحة .

ومع أن مثل هذا التقسيم للعمارة ولعناصرها يساعد فى مرحلة التحليل النظرى ، إلا أن عملية الخلق الفنى من ناحية أخرى عملية متكاملة شاملة . والتحليل الحالى ولو أنه يذهب بعيداً فى التحليل والتقسيم إلا أنه لا يهدف إلى محاولة وضع مواصفات ثابتة لعملية الإبداع الفنى بالخرسانة المسلحة ، إذ أننا مهما رسمنا من اتجاهات عن طريق التحليل المنطقى والتجارب والمشاهدات فسيظل جزء كبير من عملية الخلق المعمارى خارج النطاق المرسوم المحدد خاضعاً للحكم الشخصى للمعمارى الفنان ولقدرته على رسم طريقة بين المتغيرات والمتناقضات . هذا الحكم هو الذى يفرق معمارياً عن آخر ، ويجعل من العمارة فناً مبدعاً .

والدراسة الحالية تهدف فى أساسها إلى رسم اتجاهات معمارية عامة للخرسانة قائمة على التحليل المنطقى المنبعث من طبيعتها كمادة ومدى إمكانياتها الإنشائية والجمالية المتطورة . كما يهدف فى أساسه

إلى توعية مهنية بالاحتمالات الانتفاعية والإنشائية والجمالية للخرسانة كباعثة لعمارة جديدة — عمارة القرن العشرين . وإذا نجح هذا الكتاب فى وقف استعمال الخرسانة كمادة مدفونة تحت طبقات من البياض ، أو خلف واجهات من الحجارة أو الطوب ، وفى دفع عجلة التطور ولو قليلا نحو عمارة فنية صريحة دائمة بالخرسانة المسلحة ، يكون قد حقق أغراضه .

دكتور على رأفت

القاهرة — ١٩٧٠

تقديم
الطبعة الروسية*

تعتبر الخرسانة المسلحة من المواد الإنشائية التي تلعب دوراً رئيسياً في تحديد معالم العمارة المعاصرة. وعمارة الخرسانة المسلحة في تطورها تسير على طريق إظهار الناحية الجمالية للتكوين الإنشائي للمبنى وتحريره من القيود التي كانت تتحكم في تشكيله. هذه الحرية أعطت المصمم مجالا واسعاً ليختار الشكل الذي يلائم وظيفة المبنى.

وقد مضى هذا العهد الذي عاصر تقليد المصممين بالخرسانة المسلحة لمباني الطوب أو الأحجار أو الخشب. وبرزت الخرسانة المسلحة اليوم كمادة إنشائية لها تعبيرها الفني الخاص بها، وأصبحت كالعجين يتشكل حسب إرادة المصممين.

والخرسانة المسلحة تمكننا من خلق أسطح انسيابية غنية بملمسها، كما في المنشآت الفراغية، أو أسطح حادة الزوايا، كما في المباني الجاهزة. هذه الأسطح — برغم بساطتها — ذات طاقة جمالية كبيرة.

وتطور استعمال الخرسانة المسلحة في البناء أوجد قيماً جمالية جديدة في عالم الشكل. هذه القيم لم تكن من وحي المعماريين وحدهم، ولكن شاركهم في خلقها المهندسون الإنشائيون الذين قدموا لنا أعمالا خالدة نعتبرها قمماً في عالم العمارة والجمال.

ولقد كان للتعمق في دراسة خصائص الخرسانة المسلحة وسلوكها تحت تأثير الأحمال المختلفة، وكذلك خصائص المنشآت الخرسانية أثر كبير في تحديد المفهوم الجمالي لهذه المادة الجديدة ومن هذه الدراسات كتاب نيرفي «البناء بطريقة صحيحة»، وهو يعالج الخصائص الجمالية للمنشآت، في حين يعالج المهندس الإسباني «تروخا» في كتابه «فلسفة الإنشاءات» هذا الموضوع بطريقة أخرى. وكذلك فإن كتاب أوتو فراى عن «المنشآت المعلقة» لا يقتصر على وضع النظريات الرياضية لحساب هذه المنشآت، بل يتعداها إلى إظهار قيمها الجمالية. كما نجح المهندسان دشينجر وموراندى — من

* كتب التقديم الدكتور كيرا كارتاشوف أستاذ العمارة بكلية نظريات العمارة — أكاديمية العمارة والإنشاء بموسكو وقام بالترجمة مشكوراً الدكتور بهاء بكرى المدرس بقسم العمارة جامعة القاهرة.

خلال حلولهما لكثير من المشكلات الإنشائية — فى استنباط أشكال معمارية جديدة .

وفى الفترة الأخيرة نلاحظ تطوراً كبيراً جداً فى تصميم الأسقف المشابهة للأشكال العضوية التى تكونت خلال أحقاب طويلة . ومنها نرى الصدفات الحلزونية ومنشآت على شكل نسيج العنكبوت الرقيق وعلى شكل عروق الأوراق النباتية أو الفقاقيع . ومع كل هذا التطور فما زلنا — كما يقول المهندس تروخا — فى بداية استغلال بعض هذه الإمكانيات .

والكتاب الذى أقدمه للقراء الآن للمهندس المصرى الشاب على أحمد رأفت . وقد حصل على رأفت على البكالوريوس فى العمارة من جامعة القاهرة عام ١٩٤٩ ، وأرسل فى بعثة دراسية عام ١٩٥٢ إلى الولايات المتحدة . وحصل على الماجستير فى العمارة عام ١٩٥٣ من جامعة متشيجان ، وحصل على الدكتوراه فى عام ١٩٥٧ من جامعة كولومبيا . وعلى أساس هذه الدكتوراه وضع هذا الكتاب . وفى الولايات المتحدة كان على رأفت على اتصال وثيق بجميع المعماريين الإنشائيين المتخصصين فى مجال الخرسانة المسلحة ، وعلى وجه الخصوص عمل رأفت مع الأستاذ ذائع الصيت لدينا هنا فى روسيا ماريو سلفادورى أستاذ العمارة فى جامعة كولومبيا .

والموضوع الذى يعالجه الكتاب لا يوجد به كتب متخصصة ، إلا أنه عولج فى كثير من المقالات بواسطة مهندسين كفيليب صمويل وماريو سلفادورى وكاندالا وليسيج Lessig وغيرهم . أما فى الاتحاد السوفييتى فقد نشرت فى الفترة الأخيرة عدة مقالات فى مجلة « العمارة فى الاتحاد السوفييتى » (Architecture of U.S.S.R) كما نشر كتاب عن المنشآت الفراغية الخرسانية للمهندس م . ا. بلاكيد (M. A. Plaked) وكذلك كتاب العمارة وطرق الإنشاء عام ١٩٦٠ .

والكتاب يتميز أولا وقبل كل شىء بتسلسله الطبيعى فى معالجة الموضوع مبتدئاً بتطور الأشكال الإنشائية من نظام العمود والكمرة إلى المنشآت الفراغية ، مع نقد هذه الأشكال من وجهة النظر المعمارية . والكتاب يعالج بدقة إمكانيات الخرسانة المسلحة كمادة من مواد البناء وإمكانياتها الإنشائية والجمالية ، وكذلك الخصائص الجمالية للأسطح الخرسانية ، من ناحية طبيعة السطح ذاته وألوانه مع دراسة تأثير الشدات المختلفة . وبجانب هذا يعالج المؤلف خصائص المواد التى تتكون منها الخرسانة المسلحة وطرق إقامة منشآتها .

وفى اللمحة التاريخية لتطور الخرسانة المسلحة تضمن الكتاب معلومات جديدة عن استعمالها فى الولايات المتحدة الأمريكية ، وكذلك التجديدات التى طرأت عليها فى الفترة الأخيرة .

وهنا يجب أن نلاحظ أن المؤلف — مأخوذاً بإمكانيات الخرسانة المسلحة — قد بالغ بعض الشيء فى تأثير هذه المادة الجديدة فى خلق طراز معمارى حديث .

فالطراز المعمارى من وجهة نظرنا يتكون أولا وقبل كل شيء تحت تأثير العوامل الاجتماعية السائدة فى كل عصر . والطراز المعمارى يتبلور نتيجة لعوامل وظيفية وجمالية واقتصادية ، وعلى أساس من التقدم التكنولوجى لعملية البناء ذاتها . فإن أى شكل جديد فى تطوره من الأشكال التراثية ، التى ترجع أصولها للمواد التقليدية ، إلى الأشكال الجديدة يمر بمرحلتين : الأولى يتم فيها إرساء القواعد الإنشائية والاقتصادية لهذا النوع الجديد من المنشآت ، والثانية تظهر فيها الخصائص الجمالية المختلفة النابعة من طبيعة المادة الجديدة ؛ ففى المرحلة الأولى تسيطر الناحية الإنشائية فى المبنى على الشكل المعمارى الذى يكون صريحاً ومنطقياً مع الإنشاء ذاته . وبعد ذلك يخضع الشكل الإنشائى للشكل المعمارى ويختفى تحت الزخارف والحشوات .

والكتاب غنى بالاستكشاف والصور الفوتوغرافية . ومع أن معظم الأمثلة معروفة للوسط المعمارى عندنا إلا أن تجميعهم بهذه الطريقة الفريدة يمكن القارئ من استيعاب الأبعاد الكبيرة والإمكانيات غير المحدودة للأشكال التى تخلقها الخرسانة المسلحة .

والكتاب ، وإن كان يعكس الدور الكبير الذى تلعبه الخرسانة فى تشكيل العمارة المعاصرة فى الولايات المتحدة بشكل خاص ، إلا أنه محدود فى معالجة هذا الموضوع فى العمارة الأوربية ، وخصوصاً فى السنوات الأخيرة . ومع أن الخرسانة المسلحة تعتبر المادة الأساسية فى البناء فى الاتحاد السوفييتى إلا أن المؤلف لم يتعرض مطلقاً للتجربة السوفيتية ؛ ففى السنوات الأخيرة أقيمت عدة منشآت قشرية من الخرسانة المسلحة السابقة الصنع والمزدوجة الانحناء لتغطية أبهاء « صالات » بمقاسات ١٨ م × ١٨ م ، ٤٠ م × ٤٠ م ، ١٠٠ م × ١٠٠ م فى مدن ليننجراد و ييريڤان (Yerivan) وباكو (Bako) وتيبليسى (Tebelcy) وموسكو . كما لم يتعرض الكتاب لأعمال المهندسين فريسنييه ودبشيينجر اللذين عالجا بعمق موضوع البناء بالخرسانة وتطوره فى المستقبل القريب .

وكذلك لا نعرف لماذا لم يعالج المؤلف موضوع المنشآت المعلقة بالخرسانة المسلحة ، وأذكر هنا على سبيل المثال إستاد مدينة مونتيڤيدو فى أرجواى . وفى هذا المقام يجب أن أذكر أن هذا النوع من المنشآت المعلقة يستعمل الخرسانة والحديد فى أحسن وجه من الناحية الإنشائية ، ويخلق فى نفس الوقت

نوعاً جديداً من المنشآت ذات شخصية معمارية جديدة وإمكانيات لم تمس بعد فى مجال التكوين المعمارى . ففى هذا النوع من المنشآت يندمج شكل السقف مع التصميم الداخلى للمبنى فى وحدة معمارية متكاملة . والمسقط الأفقى لهذا النوع من المبانى والذى يتميز بخطوط منحنية يكون انعكاساً طبيعياً لاستخدام هذا الإنشاء المعلق .

هذه المنشآت المعلقة خلقت أشكالا جديدة ؛ فمنها ما هو منحن فى اتجاه واحد — كما فى حمام السباحة فى فوبرتال بألمانيا الاتحادية — ومنها ما هو ذو انحناءين بنفس الإشارة — كسقف إستاد مونتفيديو بأورجواى ومشروع تغطية إستاد ديناموا فى موسكو ، ومنها ذو الانحناءين مختلفى الإشارة كما فى سقف حلقة رالى بكارولينا الشمالية و « صالة » شفارتسفال فى كارلسروه بألمانيا الاتحادية .

وتلخيصاً للقول يمكن أن نقول إننا نشهد فجراً جديداً لنوع من المنشآت يحمل فى طياته إمكانيات لا حدود لها فى تغليف الفراغ المعمارى .

والكتاب يمكن أن نعتبره وصفاً لنوع واحد من المنشآت الفردية ؛ وهى المنشآت المصبوبة على الموقع أو نصف المجمعة . أما المنشآت الإسكانية الجماهيرية والتى تستغل الخرسانة المسلحة الجاهزة كمادة رئيسية فلم تلق المعالجة المطلوبة فى الكتاب . وفى الحقيقة أن هذا النوع من المنشآت قد أصبح يستعمل بكثرة فى كثير من البلاد الأوربية ، وبخاصة فى فرنسا وإنجلترا وتشيكوسلوفاكيا . وفى الاتحاد السوفييتى تعتبر الخرسانة الجاهزة المادة الرئيسية فى الإنشاء ، ويمكن أن يتضح هذا من الأرقام المذكورة بالجدول التالى :

	١٩٥٨	١٩٦٠	١٩٦٥
كمية الخرسانة المسلحة المستخدمة فى الإنشاءات عموماً (بملايين الأمتار المكعبة)	٤٣,٥	٥٧,٧	٨٨,٧
كمية الخرسانة المسلحة الجاهزة	١٨,٥	٣٠,٤	٥٧,٠٠

وإن البحوث والتجارب التى تقوم بها الكليات ومراكز البحوث فى الاتحاد السوفييتى أتاحت لنا الفرصة فى إيجاد أنواع محددة من الوحدات الإنشائية ، والتى شاع استعمالها حتى فى المبانى ذات الاستعمالات المختلفة . وكذلك فإن مشكلة إعطاء المنشآت المجمعة القوة والمتانة اللازمتين أصبحت ميسرة هنا نتيجة للتطور الكبير فى طرق لحام وتثبيت الوحدات بعضها ببعض .

واللجوء إلى بناء المبانى من الخرسانة الجاهزة التى تصنع تحت ظروف محددة فى المصنع قد أعطانا إمكانيات كبيرة فى استغلال هذه المادة استغلالا اقتصادياً . فاليوم انتشر فى الاتحاد السوفييتى إنتاج « البانوهات » الحائطية الخفيفة من أنواع جديدة من الخرسانة ، وكذلك إنتاج الأجزاء الإنشائية مثل الكمرات و « الجمالونات » من الخرسانة السابقة الإجهاد التى يستعمل فيها نوع جديد من الحديد ، وهذه تستعمل بكثرة فى بناء المنشآت الصناعية . كل هذا يفتح المجال أمام تحديد معالم نوع جديد من العمارة .

وكتاب على أحمد رأفت بشكل عام ذو أهمية خاصة للمهندسين والفنيين بما حواه من مادة غزيرة وآراء جديدة حول عمارة الخرسانة المسلحة .

الدكتور كيرا كارتاشوف
أستاذ العمارة فى كلية نظريات العمارة — موسكو
أكاديمية العمارة والإنشاء

تعقيب المؤلف على مقدمة البروفسور كارتاشوف

لقد تفضل البروفسور كرتاشوف مشكوراً بكتابة مقدمته للطبعة الروسية عام ١٩٦٣ ؛ أى بعد ظهور الطبعة الأمريكية بخمس سنوات تقريباً. والمؤلف يوافق البروفسور على رأيه بقصور الطبعة الأمريكية بالنسبة للأمثلة الروسية بصفة خاصة ؛ وذلك لقصر الإمكانيات المتاحة فى أمريكا عن مراحل التقدم الروسى فى المجال العلمى . وقد راعى المؤلف تدارك هذا النقص فى الطبعة العربية الحالية ، وبخاصة فيما أشار إليه البروفسور كرتاشوف بالنسبة للبناء بالوحدات الخرسانية الجاهزة . وقد حاول المؤلف استعراض وتصنيف المحاولات الأوربية والروسية فى هذا المجال الحيوى من الناحية الإنشائية وتأثير هذا النوع من الإنشاء فى التصميم المعمارى للفراغات الواسعة وللفراغات المحدودة المتكررة .

أما فيما يتعلق بملاحظات البروفسور كارتاشوف عن الإنشاء المعلق فالمؤلف يوافقه على رأيه من حيث أهمية هذا النوع من الإنشاء ، وبخاصة بالنسبة لتطوراته المستقبلة . ولا جدال فى أن هذا الإنشاء سيحتل مكانة بارزة فى مجال التسقيف المعمارى للفراغات الواسعة لما يمتاز به من خفة فى الوزن وخاصة بعد ما أدخل عليه من تحسينات لمنع الاهتزازات الايروديناميكية . وفى الحقيقة فالدور الذى تقوم به الخرسانة المسلحة فى هذه الأسقف دور محدود . فالأسقف المعلقة — بصفتها أسقفاً معرضة أساساً لإجهادات الشد — لا تتناسب مع طبيعة الخرسانة المسلحة كمادة انضغاط . فإجهادات الشد الأساسية فى الأسقف المعلقة تعادلها الأسلاك الصلب المشدودة . ودور الخرسانة المسلحة هنا فى توفير هياكل أو عقود أو حلقات الانضغاط المحيطية . كما أنها تلعب دور الأسطح المغلفة المعلقة على الأسلاك الصلب . وفى بعض الأمثلة لعبت « البانوهات » الخرسانية المعلقة دوراً فى تثبيت السقف ومقاومة الاهتزازات الأيروديناميكية ، كما فى الأمثلة التى لم تغفلها الطبعة الأمريكية للكتاب عن سقف إستاد مونتفيديو ومعسكر جامعة كولومبيا .

الجزء الأول

دورة النموّ

١

المحاولات الإنشائية الأولى لاستعمال الخرسانة المسلحة

الأحداث السابقة : يمكن أن نرجع ظهور الإنشاء بالخرسانة المسلحة إلى ثلاث مقدمات هامة :

إعادة اكتشاف الخرسانة

إنتاج « الأسمنتات » الصناعية .

إدخال الحديد الزهر فى صناعة البناء .

وإن نظرة سريعة إلى هذه العوامل سوف توضح لنا الظروف التى أدت إلى المحاولات الإنشائية الأولى لاستعمال الخرسانة المسلحة .

إعادة اكتشاف الخرسانة : استعملت الخرسانة على نطاق واسع فى العمارة الرومانية فى الحوائط والأسقف ، ثم اختفت تقريباً فى القرنين السادس عشر والسابع عشر وأوائل القرن الثامن عشر [١]، رغم ورود ذكر الأحجار الصغيرة المخلوطة بالمونة لإنتاج كتلة صلبة متماسكة فى كتابات ڤتروڤيوس (Vitruvius) ، وكرر ذكرها مؤلفو عصر النهضة ، ومنهم البرتى (Alberti) ، وبالاديو [٢] (Palladio) والسبب فى هذا الاختفاء الغريب هو الاعتقاد السائد فى ذلك الحين ، بأن الأحجار المنتظمة الظاهرة هى المادة النبيلة الوحيدة الجديرة بالاستعمال فى المبانى الهامة ، وكذلك عدم كفاية مونة الجير كمادة رابطة لأحجار صغيرة غير منتظمة .

ومع ذلك فإننا نرى ابتداء تصدع هذا المبدأ قبل الثورة الفرنسية ، حين نجد بعض مبانى عصر لويس السادس عشر مبنية بالدبش المروم ، ومكسوة بالبياض المقلد لمبانى الحجر المنتظم سعياً وراء الفخامة بأقل التكاليف . وقد فتح هذا الاتجاه الطريق أمام استعمال مواد أخرى عدا الأحجار المنتظمة . وفى الفترة التالية للثورة الفرنسية نجد أن الكتب المعمارية قد أعطت اهتماماً زائداً للطريقة الرومانية للبناء بالخرسانة ونصحت باستعمالها[٣] .

وقد جاء استعمال الخرسانة المسلحة على نطاق واسع عن طريق مادة أخرى أقل قيمة هى الطين (Pisé) ، وهذه المادة كانت مستعملة فى مناطق من إنجلترا ، مثل لانكشير وبدفورد شاير (Lancashire & Bedfordshire) ، كما كانت استعمالاتها واسعة فى إسبانيا منذ أيام الرومان . وفى فرنسا انتشر استعمالها فى منطقة ليون حيث أصبحت الطريقة الوحيدة لبناء قصور التجار الأغنياء الذين يغطونها بالفرسكو ، كما بنى بها الفلاحون وغطوها بالجير الأبيض . وأهمية المبانى الطينية فى تطور الخرسانة ليست فى المادة نفسها ، بل فى طريقة الإنشاء ، حيث كانت تستعمل الصلبات الخشبية المنزلقة بين قوائم خشبيه رأسية . وبهذه الطريقة يصب الحائط بالشكل المطلوب .

وكان التطور الطبيعي لهذه الطريقة هو أن يمزج مع الطين مادة رابطة أقوي ، كما يضاف ركام صلب (aggergate) ليكون الناتج خرسانة عادية .

ومن المشروعات الأولى التي استعملت فيها الخرسانة مشروع المهندس جون سميتون — وهو من أعظم مهندسي القرن الثامن عشر بإنجلترا — لاهويس الأول على نهر كالدر (Calder) عام ١٧٦٠ *(٦) . وحوائط هذا الهويس مزدوجة من الحجر ، فى حين ملأ الفراغ بينها بالخرسانة التى هدته لها زيارته لقصر كورف (Corf) بجزيرة بربيك (Purbeck) . وتتكون الخرسانة التى استعملها سميتون من ثمانية أجزاء من الركام الرفيع أو الحصى ، وعشرة أجزاء من المونة التى تتكون من جزأين من مطحون حجر الحديد المؤكسد المهزوز (Ground Minion) ، وأربعة أجزاء من الجير (Barrow Lime) ، وأربعة أجزاء من الرمل ، وهى نفس المونة التى استعملت فى الحوائط . وقد كان لهذا الاستعمال الجديد للخرسانة ، أو هذه المونة ذات الركام الرفيع ، والتى أوحى بها قصر كورف ، بداية لاستعمالها المتزايد خلال القرن التاسع عشر فى المشروعات الصغيرة والكبيرة .

بدأت خرسانة سميتون تلقى قبولا حسناً فى إنجلترا فى أوائل القرن التاسع عشر ، وبالتدريج بدأت الخرسانة الجيرية تحل محل الحوازيق الخشبية فى الأساسات ، ونرى ذلك فى أعمال سير جون سون (Sir John Soane) فى أغلب المبانى العامة بوستمنستر (Westminster) ، مثل دار القضاء ، والمبانى الإضافية بمجلس اللوردات ، ومكتبة مجلس العموم ، ومكاتب الغرفة التجارية ومجلس المستشارين وغيرها . كما استعملت الخرسانة فى بلوكات سابقة الصنع ، وفى الحشوات والأسقف المضادة للحريق . وقد كان استعمال البلوكات الخرسانية مفيداً فى إعطاء الثقة بالمادة الجديدة . وقد وصف مستر جورج جودوين (Goodwin) فى رسالته عن الخرسانة(٧) استعمال بلوكات رانجر (Ranger) ** فى مسكن سير إدوارد كودرينجتون (Sir Edward Codrington) فى برايتون (Brighton) سنة ١٨٣٦ ، كما استعملت فى بناء كلية الجراحة (١٨٣٥ — ١٨٣٦) ، وفى بيت الحراسة بحديقة سان جيمس بارك بلندن .

وفى فرنسا كان من أوائل المستعملين للخرسانة (Beton) بنّاء عبقرى اسمه فرنسوا كونترو

* تأكيد سحفريد جيديون ، المؤرخ المعروف ، بأن أول استعمال للخرسانة بواسطة سميتون كان فى أساسات منار اديستون سنة ١٧٧٤ (٤) ليس صحيحاً كما تدل على ذلك كتابات سميتون الخاصة ، وفيها يقول إن المنار المذكور بنى من الصخر الطبيعى . أما بالنسبة للمونة فقد قال عنها سميتون « لقد قررت أن تتكون المونة من مزيج من الجير والبوتزلانا (Pozzolana) بكميات متساوية (٥) »

** ظهرت بلوكات رانجر باسم « أحجار رانجر الصناعية » المسجلة عام ١٨٣٢ .

(F. Cointeraux) ، استعملها لتطوير المبانى الطينية لبناء مساكن الفلاحين المضادة للحريق . وفى كتاباته اقترح البناء بحوائط مموجة (Corrugated) ، كما اقترح فى تقرير له نشر فى نهاية القرن الثامن عشر[٨] استعمال الخرسانة «لمخازن الغلال الأرضية التى تقلد شكل البيضة» *. وتبعه المعمارى فرانسوا مارتان لبرون (Francois Martin Le Brun) ** وكان يعمل فى مونتوبان (Montauban) وقد بنى بالخرسانة منزلا لأخيه فى مارساك (Marssac) بجوار ألبى (Albi) سنة ١٨٣٢ . وقد استعمل الخرسانة فى كل جزء من الحوائط والأرضيات والسلم الخارجى ، كما كان سقف الدور الأرضى والسقف العلوى من عقود خرسانية بحرها ١٨ قدماً ، ٢١ قدماً بالتوالى . أما الطابق المتوسط فكان من عقود خرسانية صغيرة بين كمرات خشبية . وجميع العقود والزخارف على الواجهة مصبوبة على الموقع فى شدات خشبية خاصة وجميعها عملت مرة واحدة ، وليست على مراحل من ارتفاعات قصيرة ، كما هو الحال فى مبانى الطين ، كما تركت تحت العقود لمدة شهر قبل رفعها . ونظراً لنجاح هذه العقود قرر لبرون استعمال نفس الطريقة لإنشاء عقود أكبر بالخرسانة فأنشأ سقفا لمخازن أرضية لدار بلدية مدينة جاياك — تارن (Gaillac-Tarn). والعقد عرضه ١٠ أقدام وطوله ٦٠ قدماً ، وقد بنى على شدة من الطين رفعت بعد ٤ أشهر . وفى سنة ١٨٣٤ بنى من الخرسانة مدرسة من طابق واحد لمقاطعة سانت أنيان (St. Agnan) بجوار تارن وجارون (Tarn et Garonne-Castel Sarrasin) . وقد صممها على أن يستعمل لها عقداً خراسانياً للسقف ، ولكنها نفذت بالطريقة المعتادة لأن عمدة المدينة فكر فى احتمال امتدادها لدور ثان[١٠] . وقد ابتدأ لبرون أكثر مشروعاته جرأة فى سنة ١٨٣٥ حين أعجب به عمدة تارن وجارون وكلفه بعمل كنيسة بروتستانتية لمقاطعة كورباريو (Corbarieu) وقد كان الهدف اقتصادياً . وقد تمت مساقط الكنيسة فى ٢٠ مارس سنة ١٨٣٥ ، وهى عبارة عن مستطيل بطول ٥٨ قدماً و٨ بوصات وعرض ٢٦ قدماً و٨ بوصات وبحوائط خرسانية سمك قدمين و ٤ بوصات . وقد غطيت الكنيسة أولا بعقد خرسانى ولكن شدوخاً حدثت فيه فاستبدل به سقف خشبى .

---

* هذا الاقتراح بالخرسانة معاصر لتصميمات المهندس الفرنسى بوليه (Boullee) لمبانى خيالية لدار أوبرا ومتحف وقبة فلكية لنيوتن وغيرها مستعملا أشكالا منحنية على شكل قباب لقطاعات رفيعة للغاية بدون تحديد لمادة الإنشاء[٩]. هناك احتمال يحتاج إلى تأكيد علمى فى أن بوليه تخيل الاحتمالات المعمارية المستقبلة لاقتراح كونترو فجاءت تصميماته ذات صلة كبيرة بأشكال الخرسانة المسلحة .

** اهتم لبرون بالخرسانة بعد قراءته لكتاب L.G. Vicat, "Experimental Researches into building Limes, Concretes and Ordinary Mortars".

وقد تبع لبرون مدير لمصنع كيمائى يدعى فرانسوا كونييه (F. Coignet) وقد كان له الفضل فى نشر هذه المادة الجديدة ، لما امتاز به من صفات الصبر والجلد وخبرة فى الدعاية . وقد بنى مصنعاً كيماوياً فى سانت دنيس بجوار باريس سنة ١٨٥٢ أو سنة ١٨٥٣[١١] . وقد استعمل الخرسانة للحوائط والعقود والسلالم والأعتاب ، كما استغنى عن استعمال الأحجار أو الطوب حول الفتحات ، كما كانت العادة فى مقاطعة ليون . وقد قام كونييه بعدة تجارب للحصول على خرسانة أقوى وذلك باستعمال كمية مياه أقل ، كما توصل إلى مكنة تدار بثمانية أحصنة لخلط الخرسانة القليلة المياه . وقد صمم كونييه على تجربة الخرسانة الجديدة فبنى لنفسه منزلا أمام مصنعه فى سانت دنيس عام ١٨٥٣ . هذا المنزل له أهمية تاريخية خاصة ، لأنه يعتبر المحاولة الأولى لاستعمال الخرسانة فى بناء واجهات مزخرفة بكرانيش وحليات وأسوار . ولم يستعمل الخشب إلا فى الأرضيات حيث دفنت الكمرات الخشبية فى الخرسانة ، كما استعملت كمرات حديدية فى السقف العلوى لتقوية الخرسانة . وما زال المنزل مستعملا إلى اليوم .

وقد استخرج كونييه براءتى اختراع للخرسانة سنة ١٨٥٥ احتفظ لنفسه منها بحق استعمالها لخمس عشرة سنة تالية . وفى الاختراع الأول شرح احتمالات عمل الخرسانة بمواد رخيصة (Béton Economique) وشرح فى الثانى طرقه للبناء بالخرسانة . ثم عدل الأول بملحق فى ١١ ديسمبر سنة ١٨٥٥ ، وفيه أكد أن الحوائط الخرسانية لا تحتاج إلى أى كسوة ، لأن فى الإمكان صبها مع عمل جميع الزخارف فى الشدة ، وهذه تنطبع بالتالى على الخرسانة ذاتها .

وقد استمر كونييه فى استعمال الخرسانة فبنى منزل ناظر محطة سوريسن (Suresnes) على سكة حديد ڤرساى سنة ١٨٥٥ ، وفيه استعمل الخرسانة فى كل أجزاء المنزل من قمته إلى أساسه ومخازنه وعقوده وبلاطاته وحوائطه وسقفه العلوى الذى أخذ شكل القبة . كما استعمل عقداً بحره ٤٦ قدماً و ٨ بوصات وسمكه قدم و ٤ بوصات عند القاعدة و ١٠ بوصات عند الرأس فى المنزل المشهور الذى بناه فى شارع بواسنيير (Poissonniers) فى سانت دنيس سنة ١٨٥٦ . كما تنبأ كونييه بإنشاء القبوات بالخرسانة ببحور غير عادية ، وكذلك الأسقف المستوية ذات البحور الواسعة لتغطية المسارح . وقد أتيحت لكونييه الفرصة الوحيدة لعرض إمكانيات الخرسانة فى المبانى العامة فى كنيسة لڤيسينه (Le Vésinet) عام ١٨٦٢ مع معمارى غير مرحب بالإنشاء الخرسانى هو لويس شارل بوالوه (Louis-Charle Boileau) والكنيسة ما زالت قائمة (شكل ٢٨) . كما بنى بالخرسانة عمارة من ستة طوابق بباريس عام ١٨٦٧ وفنار

بورسعيد فى نفس السنة بارتفاع ٦٥ متراً . ويعتبر كونييه بحق ، الرجل الذى أرسى قواعد الإنشاء الخرسانى فى العصر الحديث .

وفى الولايات المتحدة لم يهتم الإنشائيون فى القرن التاسع عشر بإمكانيات الخرسانة ، رغم كونها مسرحاً لتطورات هامة لاحقة فى التسليح. وقد بدأ استعمال الخرسانة حوالى منتصف القرن التاسع عشر ، ويتبين لنا ذلك فى كتابات الصحفى الأمريكى هوراس جريلى (Horace Greeley) وهو بانى أقدم بناء معروف بالخرسانة فى أمريكا ، إذ يقول فى مذكراته التى نشرت عام ١٨٦٨ « البناء بالخرسانة مازال مستحدثاً ، وقد كان نادراً من عشر سنوات عندما بنيت حظيرتى . ويمكنى الآن أن أبنى أحسن وأرخص ، ولكنى سعيد لأنه ليس لى حاجة لذلك . وأنا أقدر أن هذه الحظيرة ستكون قائمة ونافعة لمدة طويلة بعد أن ينسانى الناس ، ولو كنت وضعت اسمى على واجهتها لظل باقيا يشرفنى كبناء طويلا بعد أن يزول له أى معنى آخر » [١٢] .

ولقد بنى هوراس جريلى حظيرته سنة ١٨٥٨ فى شابكوا (Chappaqua) بولاية نيويورك من الخرسانة التى كونها كما قال : « من أحجار جمعت من المنحدرات القريبة ، ووضعت فى صندوق مع مونة مكونة من جير قليل ورمل كثير تملأ الفراغات وتربط الجميع فى كتلة واحدة حتى تصير حوائطى كصخرة صماء » [١٣] . وقد تحولت الحظيرة إلى منزل من ثلاثة أدوار ما زال قائماً كأثر لبنائه الأول .

تطور « الاسمنتات » الصناعية

ما كان فى الإمكان التطور السريع للخرسانة وإضافة الحديد إليها ما لم يصحبه اكتشاف ثان حدث فى نفس الوقت وهو ظهور « أسمنتات » صناعية قوية لازمة لتحل محل الجير فى لصق الركام الصغير وجعله كتلة واحدة متماسكة .

لم تكن مجرد مصادفة أن يكون المهندس الإنجليزى سميتون مكتشف الخرسانة ، هو فى نفس الوقت أول من أنار الطريق الصحيح إلى تكوين الأسمنتات الحديثة لأهمية كل منها للأخرى وذلك حين قال . . « الجير النقى الذى يحتوى على أكبر كمية من أملاح الكالسيوم يعطى أحسن النتائج لأغراض الزراعة ، ولسبب أو لآخر عندما يخلط الجير خلطاً جيداً بنسبة من الطين (الذى يتحول بالحرق إلى طوب) فإنه يعطى قوة أكبر كأسمنت . وهذا يوحى إلى بفكرة . . . أن إضافة وخلط الطين مع الجير بالطريقة التى ذكرت من قبل يصبح الناتج صالحاً للاستعمال فى المبانى المائية » [١٤] .

وقد أجرى سميتون تجارب جادة على هذا الاكتشاف وتبعه باركر (Parker) الذى اكتشف

«الأسمنت الرومانى» فى سنة ١٧٩٦. وقد قام پاركر بطحن بعض الأحجار المحروقة أو المنتجات الطينية المسماة « شعيرات الطين » (Noodles of clay) . وفى عام ١٨١٣ قام « ڤيكات » (Vicat) بحرق خليط من أنواع ونسب مختلفة من الطين والجير . وفى نفس الاتجاه وصل فروست (Frost) إلى « الأسمنت الإنجليزى » سنة ١٨٢٢ . ثم تبعه أسبدن (Aspdin) بصنع الأسمنت البورتلاندى (Portland Cement) سنة ١٨٢٤ . هذه « الأسمنتات » ماهى إلا جير مائى (hydraulic Limes) لأن مايحدث للمخلوط هو « تكليسه » وليس تحجره وسحقه بالحرارة .

وقد بدأ إنتاج الأسمنت البورتلاندى كما نعرفه بواسطة أسرة أسبدن (Aspdins) فى ويكفيلد (Wakefield) وجيتسهد (Gateshead) بإنجلترا . وقد كانت الزيادة الضخمة فى التصنيع والطلبات المتزايدة على الأسمنت سبباً فى التطور السريع فى صناعته . وبعد بحوث طويلة نجح مستر جونسون (L.C. Johnson) مدير شركة وايت وأولاده (Messrs. Whites & Sons) فى سوانسكومب بكنت (Swanscombe, Kent) فى سنة ١٨٤٥ فى الوصول بمزيج الجير والطين إلى قرب التزجيج (Vitrification) . وبعد طحن المزيج نتج نوع من الأسمنت أفضل بكثير من الموجود فى ذلك الوقت . وبهذه التحسينات وغيرها أثبت الأسمنت البورتلاندى تفوقه ، وابتدأ إنتاجه على نطاق واسع فى إنجلترا وغيرها من البلاد . واستمرت التطورات فى تفاصيل صناعته وإنتاجه . ومن بين هذه التطورات طريقة جورهام (Goreham) لطحن الخلطة بأحجار الطواحين (Burr stones) ، وطريقة توماس كرامبتون (T. Crampton) لحرق الأسمنت البورتلاندى وغيره من « الأسمنتات » فى الأفران الدائرية ، وطريقة ستوكس (T.W.S. Stokes) لتجفيف الروبة (Slurry) ، بتمرير غازات ساخنة من الفرن الدائرى خلال أسطوانات دائرة وعلى محيطها تمر الروبة وطرق هارى و سيمان (E.H. Hurry & H.J. Seeman) لتحسين طريقة تبريد الكلنكر . كل هذه المحاولات والتجارب أدت إلى التقدم الهائل فى قوة الأسمنتات الصناعية .

تطور الحديد الزهر :

الاكتشاف الثالث الذى أدى إلى ظهور الخرسانة المسلحة هو إدخال الحديد الزهر فى الإنشاء . وقد ظهر ذلك لأول مرة فى « الكوبرى » الذى أنشأه إبراهام دربى الثالث على نهر (Savern) بإنجلترا سنة ١٧٧٥ — ١٧٧٩ [١٥] وذلك بعد خمسة عشر عاماً من استعمال جون سميتون للخرسانة فى هويس نهر كالدر . ولقد خطا الحديد الزهر فى تطوره خطوات سريعة إلى أن أخذ مكاناً هاماً فى العمارة الصناعية والتجارية فى القرن التاسع عشر . وقد كانت بداية استعمال الحديد الزهر مع الخرسانة فى أوائل القرن

التاسع عشر في المباني ذات الطبقات المتعددة والإنشاء الهيكلي المبنية بطريقة وات و بولتن (Watt and Boulton) في محلج قطن فيليب ولي (Phillip & Lee) في سالفورد (Salford) بمانشستر عام ١٨٠١ (١٦). ويعتبر المحلج أول استعمال لكمرات الحديد على شكل (I) المحملة على أعمدة أسطوانية، وقد استعملت الخرسانة في تسوية سطح عقود الطوب المكونة للأسقف (شكل ١).

لم ينتج عن استبدال الكمرات الخشبية بأخرى حديدية في أوائل القرن التاسع عشر مناعة كافية ضد أخطار الحريق، فاتجه التفكير إلى إحاطة الكمرات الحديدية بالخرسانة. وقد استعمل الدكتور فوكس (Dr. Fox) وهو مهندس إنجليزي عام ١٨٢٩ الخرسانة في الأسطح ليملأ الفراغات بين الكمرات الحديدية وسجلها في براءة اختراع عام ١٨٤٤ (١٧) (شكل ٢). ثم بنى المهندس الأسكتلندي وليم فيربيرن (W. Fairbairn) بمانشستر مصفاة ذات ثمانية أدوار في سنة ١٨٤٥ (١٨) مستعملا كمرات حديد مطاوع تربطها من أعلى قضبان حديدية ومن أسفل ألواح من الحديد على شكل قبوات قليلة الانحناء وهذه حلت محل قبوات الطوب السابق استعمالها. وقد سوى السطح أفقياً بملء الفراغات بالخرسانة * (شكل ٣). هذا التصميم الذى أوحت به الرغبة في الحماية ضد الحريق قرب كثيراً من الإنشاء الذى يعمل فيه الخرسانة والحديد معاً — أى الخرسانة المسلحة — حيث إن الألواح الحديدية بمفردها لايمكنها أن تكون مسطحاً ثابتاً ووجود الخرسانة أعلاها هو سبب صلابتها.

وقد تطور الإنشاء المعدني في أوربا وأمريكا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر تطوراً سريعاً وخاصة في المباني الانتفاعية كمحطات السكك الحديدية، والأسواق، وصوبات النباتات، ومباني المكاتب متعددة الطبقات، والمحلات التجارية، وصالات المعارض. ولم ينته القرن إلا وقد تمت تغطية مسطحات بلغت ١٨ فدانا في القصر البللوري عام ١٨٥١. كما أقيمت هياكل معدنية ببحور بلغت ١١٥ متراً في صالة الماكينات بمعرض باريس ١٨٨٩ و ١٦٥ متراً في كباري المهندس الفرنسي جوستاف أيفل. كما تم الامتداد الرأسي بالهيكل الحديدى إلى ستة عشر طابقاً في عمارات المكاتب بمدينة شيكاجو وإلى ارتفاع ألف قدم في برج إيفل عام ١٨٨٩.

---

* ظهرت طرق أخرى في نفس الوقت في فرنسا وهى طريقة ڤو «"Vaux System"» وطريقة ثوياشى «"Thuashe System"» وغيرها. لدراسة تفاصيل أكثر عن هذه الفترة يمكن قراءة V. Fairbairn "On the Application of Cast and Wrought Iron to Building Purposes," (New York : J. Wiley, 1854)

أوائل المكتشفين للخرسانة المسلحة : الحديد الزهر المكشوف ، محل ثقة كثير من البنائين ، قلّت استعمالاته وخاصة بعد حرائق سنة ١٨٧٠ وما بعدها فى بوسطن وشيكاغو . وبينما المحاولات السابقة لدكتور فوكس وفيربيرن لاستعماله مع الخرسانة لم تكن هى نهاية المطاف ، إلا أنها فتحت الطريق أمام الخطوة التالية فى البحث عن الإنشاء المضاد للحريق .

وقد كانت المرحلة التالية هى الوصول إلى أن الخرسانة المحيطة بالكمرات الحديدية يمكنها أن تؤدى دوراً إنشائياً بجانب حمايتها لها ضد الحريق . وقد توصل المكتشفون على مراحل عديدة إلى أن الخرسانة والحديد يمكن أن يعملا ككتلة واحدة . وفى حالة تعرض مثل هذا القطاع لعزم انحناء فإن الترابط بين الحديد والخرسانة كاف لكى تقاوم الخرسانة قوى الانضغاط والحديد أو الصلب قوى الشد الناتجة. كان من نتيجة الجهود المتلاحقة — التى بذلها مخترعون من أمثال ولكنسون (Wilkinson) فى إنجلترا وكوينيه ومونييه (Monier) فى فرنسا وهايات (T. Hyatt) ووارد (W.E.Ward) فى الولايات المتحدة — ميلاد الخرسانة المسلحة .

أوربا : يمكن الطعن تاريخياً فى الاعتقاد السائد بأن مونييه — البستانى الفرنسى — هو أول من توصل إلى فكرة الخرسانة المسلحة . فلقد سجل مونييه اختراعه عام ١٨٦٧ فى حين سبقه آخرون إلى تسجيلات ومحاولات عملية فى هذا المضمار .

اقترح لودون (Loudon) فى المقال رقم ١٧٩٢ لموسوعته عن عمارة الشاليهات والمزارع والفيلات (Encyclopedia of Cottage , Farm and Villa Architecture) الذى صدرت عام ١٨٣٣ ، طريقة لإنشاء الأسقف المضادة للحريق من شبكة من القضبان الحديدية المدفونة فى الأسمنت(١٩) .

كما سجل مقاول البياض والأحجار الصناعية الإنجليزى ولكنصون (W.B. Wilkinson) سنة ١٨٥٤ فى نيوكاسل — على تاين (New Castle -On-Tyne) اختراعه لأسقف مضادة للحريق . وما اختراعه إلا تسليح للبلاطات الخرسانية بكابلات مجدولة . وقد وصفه ولكنصون قائلا: « يثبت الكابل فى نهايتيه على خطوط التحميل بدفنه فى الخرسانة قبل تصلبها مع ثنى النهايتين على شكل حلقة أو فك السلوك المكونة له ، وتفتيحها فى اتجاهات مختلفة ، وبهذا يمكن ضمان عدم انفصاله تحت أى قوة أقل من القوة اللازمة لقطعة . وفى المنازل العادية اقترح أن توضع هذه الحبال على مسافات ٩ بوصات ، وأن يكون سمك السقف $\frac{١}{١٦}$ من البحر » (٢٠) .

وقد قال مستر شات (R.V. Chate) أحد السكرتيرين السابقين لجمعية الخرسانة المسلحة في إنجلترا ما يلي بخصوص اكتشاف ولكنصون . . . « لقد أدرك ولكنصون بذكائه مبادئ الخرسانة المسلحة الحديثة . وقد استخلص مواصفاته من تجارب عملية دقيقة ، وربما عن تفهم نظرى أيضاً . كما تظهر رسوماته للبلاطات المسلحة الكابلات الحديدية ، وقد ثنيت إلى أسفل البلاطات فى وسط البحور حيث يوجد أكبر عزم انحناء فى حين أنها رفعت إلى أعلى فوق الكابلات فى البحور المستمرة لمقاومة عزوم الانحناء السلبية» [٢١] .

وحسب معلوماتنا الحالية يمكننا أن نؤكد أن هذا التسجيل هو أول اختراع يصف بدقة مبادئ الإنشاء بالخرسانة المسلحة . ومن المؤكد أن ولكنصون أدرك الحاجة إلى عناصر شد تضاف للخرسانة ولو أنه أخذ حرية واسعة فى تكوين الخرسانة ذاتها ؛ إذ أنه كونها من الجبس والجير بنسب معينة . وقد بنى ولكنصون عدة مبان من الخرسانة المسلحة فى المنطقة ، وقد جاء ذكر ذلك فى خطاب أرسله المدعو مستر ثورب (Mr. Thorpe) بتاريخ ١٥ مايو سنة ١٩٢٥ لمحرر مجلة الهندسة (Engineering) [٢٢] . وفيه ذكر أن ولكنصون بنى كوخاً مقاوماً للحريق فى طريق نور ثمبرلاند (Northumberland) بمدينة نيو كاسل على تاين سنة ١٨٦٥ . وقد أرفق بهذا الخطاب صورة للكوخ من طابقين بطول ١٦ قدماً وعرض ١٤ قدماً . وأكد أنه مازال قائماً حتى كتابة الخطاب — أى بعد أكثر من ٦٠ عاماً من إنشائه* — ويعد ولكنصون من أكبر مقاولى الخرسانة المسلحة فى إنجلترا . وقد ظلت شركته فى نيوكاسل وفروعها فى لندن مزدهرة حتى مطلع القرن العشرين .

فى عام ١٨٥٤ نشرت المجلة الفرنسية «العرض العام للعمارة» (Revue Generale de L' Architecture) تقريراً عن المؤتمر السابق للجمعية الملكية للمهندسين المعماريين البريطانيين (R.I.B.A.) عن الإنشاء المضاد للحريق . وفى المقال نشرت تفاصيل عن الطرق الإنجليزية لاستعمال الحديد والخرسانة كطرق الدكتور فوكس وفير بيرن ، ومما لاشك فيه أن الإنشائيين الفرنسيين من أمثال فرنسوا كوانييه قد اطلعوا على هذا التقرير . وفى ٢٦ نوفمبر من عام ١٨٥٥ استصدر كوانييه براءة اختراع إنجليزية لانشاء أسقف يقول فيها : « ترمى على الحوائط الحاملة للأسقف عدد من الخوص الحديدية موازية بعضها لبعض ومرتكزة على الحوائط بنهاياتها بحيث يحملها السمك الكلى للحائط . . بدلا من الخوص اقترح وضع أسياخ

* ذكر كولنز (Collins) أن المنزل فحص بواسطة بروفسور كاسى (W.F. Cassie) أثناء هدمه و وجد فى حالة سليمة
Structural Engineer, April 1955, P.P. 134-7- Cf. Collins, concrete, op.cit P, 38.

متقاطعة على أبعاد مناسبة مرتكزة على الحوائط الأربع بحيث تظهر كرقعة الشطرنج . هذه القضبان يجب تقلوظ وتثبت في كل نهاية صامولة بحيث تمنع الحوائط من أن تفقد وضعها العمودى »[٢٣] .

وقد أضاف إلى ذلك فى التسجيل الفرنسي المؤرخ ٢٤ يونية سنة ١٨٥٦ قوله : « هذه القضبان بما لها من صواميل فى نهاياتها تكون وحدات شد (بالفرنسى Tirans) مقصودة لمنع الحوائط من الميل إلى الخارج »[٢٤] .

القضبان هنا الغرض منها — كما جاء فى تسجيل كونييه — أن تعمل كوحدات جذب وربط وليست كوحدة متماسكة مع الخرسانة . ومع هذا فقد أظهر إدراكه بوضوح للاحتياج إلى وحدات شد تدفن داخل البلاطات الخرسانية . وقد أنشأ كونييه أسقفاً تجريبية منها سقف محمل على ثلاثة حوائط فقط عام ١٨٥٨ ، وآخر طوله ٢٣ قدماً ، وعرضه عشرون قدماً « وقد يرقص عليه عشرون شخصاً لإثبات عدم حدوث اهتزازات » . وقد علق كونييه على السقف الأول فى ملحق لبراءة اختراعه رقم ٢٢٩٩٤ المؤرخة بتاريخ ١٨ نوفمبر سنة ١٨٥٨ قائلا : « كل سقف يكوّن بلاطة مفردة لها نفس صلابة ومقاومة الحجر ، وتحتوى داخلها على كمرات صغيرة . . . تكون وحدات شد . هذا ترتيب يزيد مقاومة الكمرة ذاتها لعزوم الانحناء بإضافة مقاومة البلاطة الخرسانية[٢٥] . وكان ذلك قبل تسجيل مونييه لبراءة اختراعه بتسعة أعوام .

كذلك تظهر فى كتابات مورتون شاند (Morton Shand) [٢٦] عن تاريخ الخرسانة المسلحة أسماء مثل ماثيو ألن (Matthew Allen) وهو بناء من لندن سجل سنة ١٨٦٢ طريقة للإنشاء بالخرسانة المزودة بالحديد للأسقف والسلالم ، وهذه استعملت فى سوق كولومبيا فى شورديتش (Shoreditch) . كما يذكر شاند أن فردريك رانسوم (F. Ransome) قد أنشأ فى سنة ١٨٦٥ كمرات من الأسمنت المصبوب على هيكل على شكل أطواق حديدية ، وأن سكوت (H.Y.B. Scott) قد طور الطريقة السابقة لتكون أقرب للتنفيذ عمليا بتسجيله لاختراع فى سنة ١٨٦٧ لأسقف خرسانية مقواة بشبكات متقاطعة من أطواق حديدية (Hoop-iron) ومحملة على أسياخ حديدية رابطة مدفونة بدلا من الكمرات الحديدية المستقلة .

أما بالنسبة لمونييه فإنه لم يسجل اختراعه الأول فى فرنسا إلا فى سنة ١٨٦٧ ، وهو يختص بإنشاء أحواض نباتية مستعملا « أسمنت مقوى » بسلك شبكى . والمادة التى استعملها هى المونة المقواة وليست الخرسانة[٢٧] ، فمرونة السلك الشبكى سببت صعوبة دفنه فى خرسانة ذات ركام كبير . وقد كان معرض باريس لعام ١٨٦٧ فرصة أتيحت لمونييه لعرض بعض أحواض الأزهار والأصص . غير أنه لم يظهر أى

دراية بالاحتمالات الإنشائية للخرسانة المسلحة إلا فى طلبه تسجيل الاختراع سنة ١٨٧٣ للإنشاء بالأسمنت المسلح فى الخزانات والكبارى (٢٨) ، وفى تسجيل اختراع فى نوفمبر عام ١٨٧٧ لكمرات وأعمدة من أسمنت وحديد وذلك لاستعمالها فى الطرق والسكك الحديدية .

أمريكا : أغفل تاريخ الخرسانة المسلحة دائماً المجهودات الأمريكية التى بذلت فى المراحل الأولى من تطورها ، مع أن أوائل المخترعين الأمريكيين قد توصلوا فى نفس الوقت وفى عزلة عن أوربا إلى اكتشاف أسس الخرسانة المسلحة سواء فى المعمل أو فى المجال التطبيقى . وسيهدف العرض التالى إلى الكشف عن هذه المجهودات سعياً لاستكمال الصورة الكاملة للإنشاء الخرسانى فى أوائل مراحله على ضفتى الأطلسى .

وحسب معلوماتنا الحالية يمكن القول بأن أول كتاب عن الخرسانة المسلحة فى العالم كتبه مخترع أمريكى هو هايات عام ١٨٦٦ (٢٩) . وقد نشر هايات فى هذا الكتاب نتائج تجارب أجريت له بواسطة مستر كركادلى (David Kirakadly) (شكلى ٤ و ٥) . هذه التجارب أجريت على خمسين كمرة بأوزان من ٢٠٠ إلى ٩٠٠ رطل ، مسلحة على أشكال مختلفة حملت جميعها حتى الكسر . وقد أظهرت هذه التجارب بما لا يتطرق له أي شك فهماً لأسس الخرسانة المسلحة — سابقاً ومستقلا عما وصل إليه الأوربيون . هذه النتائج أدرجت ضمن براءة اختراع أمريكية رقم ٢٠٦١١٢ بتاريخ ١٦ يوليو سنة ١٨٧٨ . وقد لخص هايات نظريته فى طلبه بقوله : « يمكن فى أي كمرة أو منشأ معرض لعزوم الحناء الجمع بين الحديد أو الصلب وبين الخرسانة أو الطوب ، الأولى كشدادات معدنية توفر قوى الشد لمعادلة قوي الانضغاط التى توفرها المواد الأخري ، كما يمكن الاستغناء عن الأجزاء المعدنية من الكمرة الحديدية مع استبقاء الشدادات علماً بأن الطوب المحروق والخرسانة يمكنها فى ذاتها توفير قوة متماسكة كافية للقيام بالدور الذي يلعبه الجذع المعدنى » (٣٠) .

اهتم هايات بفكرته عن الأسقف المسلحة منذ سنة ١٨٥٥ ، فأجري تجارب غير ناجحة على كمرات من طوب مفرغ مربوط بشدادات من كمرات حديدية ، وبلاطات من الجبس دفنت فيها أنابيب مفرغة من الصفيح ، كما ملأ كل هذه الأنابيب بالمونة . وكنتيجة لتجاربه اللاحقة بالبلوكات الزجاجية المدفونة فى الأرصفة الخرسانية اتجه اهتمامه إلى إمكانيات الجمع بين الخرسانة والحديد ، واستعان بخبرة مهندس سكك حديدية متقاعد من برمنجهام يدعى توماس ركت (Thomas Rickett) لمساعدته فى الحلول النظرية للمشاكل الإنشائية المتعلقة بهذا الموضوع . وقد بنى هايات مصنعه

فى شارع فارينجدون (Farringdon Street) بلندن مستعملا الحديد المحاط بالخرسانة بالطريقة التى اخترعها . وبذا طبق عملياً على نفسه ما أذاعه فيما بعد من معلومات على الجمهور .

وقد شرح هايات فى كتابه السابق تجاربه واقتراحاته لعمل أسقف خرسانية استغنى فيها عن الكمرات الحديدية ، واستعاض بها شدادات حديديه على شكل شرائط (شكل ٦) والخرسانة فى هذه الحالة تمثل عنصر الانضغاط فى الكمرة أو البلاط . كما أجرى تجاربه على كمرات خرسانية باستعمال شدادات حديدية بأشكال مختلفة . ففى بعض هذه التجارب استعمل للتسليح أسياخاً دائرية فى أعلى وأسفل الكمرات الخرسانية . وفى تجارب أخرى استعمل تسليحاً سفلياً وأسياخاً مكسحة (شكل ٥) ، وقد اقترح للبلاطات تسليحاً على شكل شرائط مبططة (شكل ٧) ، أو أسلحة رأسية تخترقها أسياخ دائرية (شكل ٨) . وقد أوصى بالحل الأول للبلاطات ذات السمك المحدود على شرط إيصال التسليح العلوى والسفلى بأسياخ رأسية . كما أوصى بالحل الثانى « لإنشاء أرضيات ومسطحات المشى وللمنشآت المعرضة للأحمال الخفيفة وللأسقف وللكمرات الرئيسية والفرعية وللأعمدة ولبلاطات الأرصفة التى لاتتشقق من وزنها نتيجة لهبوط أساسات غير سليمة تحتها »(٣١) .

ولتأكيد اختراعه كان على هايات أن يصل إلى بعض النتائج الأساسية أهمها : وجود تماسك (Bond) بين الحديد والخرسانة . وهذه أثبتها بتجارب ظهر فيها أن انكسارات الكمرات ذات التسليح المتباين تختلف بتنوع كمية هذا التسليح . وعند ذلك قال :

« وبدراسة هذه التجارب يتضح لنا من انهيار المعدن أن كل الأسلحة ظلت ثابتة تماماً أثناء تحميل الكمرة وأن الحديد والخرسانة كانا يعملان فى تجانس تام »(٣٢) . وبالإضافة إلى ذلك اقترح فى تطبيقاته تسنين أو تخشين أو عمل نتوءات فى الشرائط الحديدية لضمان تماسك أكبر .

وقد تعمق هايات إلى أبعد من ذلك فى نظرية الخرسانة المسلحة عندما أثار النقاط التالية : «خواص الأسمنت البورتلاندى فى مقاومة الحريق ، قيمة تمدده وانكماشه بالنسبة للحديد تحت ظروف مماثلة ، تأثير الحرارة على الاثنين معاً ، تأثير شكل ووزن المعدن فى المجموعة ، ومقارنة قابلية الانضغاط والامتداد لكل من الأسمنت والحديد — كل هذه النقاط بالإضافة إلى بعض المسائل الأخرى من المستحسن حلها بأقل ما يمكن من التأخير » (٣٣) .

وقد عرّض هايات كمرات وبلاطات خرسانية لحرارة الأفران لاختبار خواصها ضد الحريق والزمن اللازم للحرارة لاختراق طبقات الخرسانة ، واستعمل نتائج هذه التجارب فى عمل جداول حرارية .

كما أجرى تجارب لمقارنة معاملات تمدد وانكماش الخرسانة والحديد ومنها وصل إلى أنه : « لم يعد هنالك شك فى التوافق الموجود بين تمدد المادتين ، مهما يكن حجم المعدن . ومن ثم فإنه فى المنشآت التى تجمع الخرسانة والحديد يمكن اعتبار المادتين — لجميع الأغراض العملية — متجانستين »[٣٤] .

ولهذا الاكتشاف بالذات يستحق هايات مكانه كأحد مؤسسى التصميم الحديث بالخرسانة المسلحة حيث إنه على أساس هذا الفرض الذى توصل إليه تطورت كل الحسابات الحديثة .

كما ذهب هايات بعيداً ليقترح عمل بلاطات سابقة الصنع من الخرسانة وصفها بأنها : « بلاطة مصبوبة ومتصلبة جاهزة للاستعمال ولتحمل الأوزان بمجرد وضعها فى مكانها »[٣٥] . واقترح أن تكون هذه الوحدات مصبوبة على شكل كمرات ذات جذع وشفة (Web & Flange) تتصل بمنحنيات لزيادة قوتها ومرصوصة الواحدة بجوار الأخرى . أما الفراغات الدائرية الأفقية فهذه يمكن استعمالها للتسخين أو للتهوية . كما أنه فى تاريخ مبكر عام ١٨٧٨ وصل هايات إلى فكرة الكمرات الصندوقية (Box-girders) التى تشكل بوضعها الواحدة بجانب الأخرى « كمرة ذات خلايا ومنشأ على شكل خلية النحل (honey-comb construction) » . كما أنه توصل إلى بلاطات مصبوبة على الموقع ، إما مسطحة أو ما يمكن اعتباره محاولة مبكرة جداً للبلاطة ذات الضلوع فى الاتجاهين (Ribbed two-way slab)[٣٦] .

كما درس هايات تصميمات رائدة لما سماه « طريقتى المحسنة لعمل الأعمدة والمداخن والمنارات والمنشآت المماثلة[٣٧] . هذه التصميمات تعتبر محاولات مبكرة جداً لهذه الوحدات بالخرسانة المسلحة . وقد استعمل فيها شدادات دائرية تحيط بأسياخ رأسية على محيط الوحدات الرأسية* .

ماهو التأثير العملى الذى أحدثته اكتشافات هايات فى معاصريه ؟

هذا التأثير لايمكن تقييمه بدقة ، فقد طبع كتابه للتوزيع الخاص فقط . وهذا مما قلل من تأثيره . ومع ذلك فقد ظهرت مقالة على صفحة كاملة فى مجلة البنّاء (The Builder Magazine) بتاريخ ٩ مارس سنة ١٨٧٨ تعرض كتابه واختراعاته كمجهودات مرموقة نحو الإنشاء المضاد للحريق . ومن المهم ملاحظة أن هذه المقالة لم تشر إلى أى من المكتشفين المعاصرين، كما لم تظهر المقالة أية إدراك لأهمية اكتشافات هايات نحو تكوين مادة إنشائية جديدة . فقد نظرت المقالة لكل هذه التطورات كمجرد تحسين لتحمل الكمرات الحديدية للحريق .

* انظر الملحق فى آخر الكتاب .

فى نظرتنا الحالية لتاريخ الخرسانة المسلحة يمكن تأكيد أسبقية هايات فى هذا المجال على «مونييه» وهو الذى ينسب إليه التاريخ العام للخرسانة المسلحة فضل اختراعها . فبينما بدأت تسجيلات مونييه ذات الصفة الجدية بالانشاء بالأسمنت المسلح عام ١٨٧٧ فإنا نجد أن هايات فى كتابه المفصل عن الإنشاء الخرسانى والصادر فى عام ١٨٦٦ قد وضع فيه الأسس الحسابية والمبادئ المؤكدة لسلامة الإنشاء بالخرسانة والحديد تحت جميع الظروف كما شرح بالرسومات الاحتمالات العملية المختلفة للإنشاء الهيكلى بالأعمدة وبالبلاطات .

* * *

أول مبنى بالخرسانة المسلحة فى أمريكا حسب معلوماتنا الحالية منزل بناه مهندس ميكانيكى من فيلادلفيا اسمه وارد (١٨٧٣ — ١٨٧٦) لسكنه الخاص بقرب بورتشستر (Portchester) بولاية نيويورك* (شكل ٩). وحسب تقريره عن إنشاء المنزل[٣٨] يمكن الاستنتاج أن وارد اكتشف الخرسانة المسلحة مستقلا عن غيره سنة ١٨٧١** . وقد كان منزله ببورتشستر التحقيق العملى لاستنتاجات وتجارب سابقة . وقد كان هدفه بناء منزل مضاد للحريق ليحقق به رغبة زوجته التى ترهبها النار . وفى هذا المنزل استعمل وارد الخرسانة المسلحة ليس فقط فى الحوائط الخارجية والداخلية والكرانيش والأبراج ، بل فى الكمرات والأرضيات والأسقف ، التى استعمل لها الخرسانة المسلحة بكمرات حديدية خفيفة وأسياخ دائرية القطاع . وقد ذكر مستر وارد بكل تحمس أن كل الدواليب | والسلالم والشرفات والمداخل بالأعمدة الحاملة لها (شكل ٩) قد صبت جميعها من نفس المادة .

وبعد فترة من التجارب استخلص وارد ما يأتى : « إن فائدة الحديد والخرسانة فى البناء يمكن زيادتها كثيراً عن طريق المواءمة السليمة لخواصهما الطبيعية . والكفاية الزائدة التى يصلان إليها نتيجة لاستعمالهما معاً تفوق بكثير تلك التى تتحقق من استعمال كل مادة على حدة وبنفس المقادير »[٣٩] . وقد استعمل وارد فى أسقف المنزل المذكور كمرات خفيفة من ٥ ، ٦ ، ٧ بوصات مدفونة فى قاع كمرات خرسانية مستغله خواصها فى الشد لمقاومة الإجهادات أسفل محور التعادل (شكل ١٠)[٤٠] . وكذلك اقترح للإنشاءات المستقبلة استعمال قطاع (T) مقلوباً ليعطى توزيعاً أفضل للحديد إذا ما قورن بالكمرات المركبة (I) التى استعملت من قبل[٤١] . وللبلاطات استعمل وارد شدة أفقية من

---

* المنزل — ما زال قائماً فى حالة جيدة .

** الحادثة التى هدت وارد إلى اكتشاف الخرسانة المسلحة حدثت فى إنجلترا سنة ١٨٦٧ حين لاحظ الصعوبات التى يصادفها العمال لإزالة الأسمنت من أدواتهم الحديدية .

ألواح خشبية خشنة بين الكمرات . كما رصت أسياخ حديدية قطر $\frac{٥}{١٦}$ بوصة بين الكمرات على مسافات ٨ بوصات ، ووضعت طبقة من الخرسانة سمك ١ بوصة فوق الأسياخ ثم رصت طبقة أخرى من الأسياخ متقاطعة مع الشبكة الأولى ، ثم صبت ودكت طبقة أخرى من الخرسانة سمكها بوصتان . ثم أضيفت طبقة من مونة الأسمنت والرمل الناعم بعد تصلب البلاطة ، و بذا أصبح السمك النهائى ثلاث بوصات ونصف بوصة . ومن المهم ملاحظة أن الأسياخ فى هذه الحالة كما هى فى الكمرات موضوعة فى قاع البلاطات . وقد صبت مايزيد على ثلاثة عشر ألف قدم مربعة من الأرضيات والأسقف فى هذا المنزل بهذه الطريقة .

وفى الحوائط وجد وارد بالتجارب أن حائطاً من الخرسانة المسلحة سمك ٢,٥ بوصة مساوياً فى القوة لحائط الطوب من سمكه ٨ بوصات . واقترح تصميماً لحائط مزدوج من الخرسانة المسلحة ذى فراغ داخلى من ٦ إلى ١٠ بوصات مع استعمال وصلات عرضية كل ٢ إلى ٣ أقدام . هذه الطريقة توفر حماية من الجو العاصف والحريق والرطوبة ، كما أنها تمد المنزل بالتهوية المطلوبة . أما الشرفة المحيطة بنصف المنزل فلها أعمدة خرسانية مفرغة (شكل ٩) والفراغات الداخلية تقوم مقام المواسير لتصريف مياه الأسطح والأسطوانات الخرسانية المحيطة مسلحة بدوائر من أسياخ $\frac{٣}{٨}$ بوصة فى منتصف القطاع .

وقد أثار المنزل آراء متعارضة ، فبينما عرف باسم « تهريج وارد » بين سكان المنطقة متنبئين بقرب سقوطه ، نجد اهتماماً بالمنزل من مراسل مجلة (American Architect and Building News.) مستر رايت (P . B . Wright .) الذى نشر مقالا فى صفحتين سنة ١٨٧٧ مشيراً إلى استعماله المستحدث للمواد ، وشارحاً للأشكال الجديدة الأخرى التى قدمها . وفى سنة ١٨٨٣ عندما قرأ مستر وارد مقالته عن « الخرسانة والحديد كمادة إنشائية » فى مؤتمر للمهندسين ، قامت مناقشة حامية كان الاهتمام فيها منصباً على خاصية الإنشاء الجديد كمادة مضادة للحريق وعلى طريقة وارد لتسخين المنزل. وقد عبر مستر وارد عن ثقته غير المحدودة باختراعه الجديد مقترحاً امتداد استعماله للمشروعات المعاصرة كنفق نهر الهدسون وتمثال الحرية ، وقد كان الأخير تحت الإنشاء على جزيرة بدلو (Bedloe) فى ذلك الوقت . وقد استعمل وارد الإنشاء الجديد فى الأساسات الثقلية للماكينات الثابتة وكذلك فى تبطين خزان سعته ٩٦٠٠٠ جالون ، كما استعمل الخرسانة المسلحة فى بناء كل جزء معرض للحريق فى مصنع المسامير والصواميل الذى يملكه ببورتشستر بنيويورك .

وكما هو ملاحظ عن القرن التاسع عشر فإن هؤلاء المكتشفين الأوائل لم يشيروا فى كتاباتهم لأى مجهودات مشابهة سابقة أو معاصرة . وربما يرجع ذلك إلى نقص النشر على مستوى دولى الأمر الذى حدد انتشار المعرفة بالمخترعات عالمياً .

وعلى العموم فإن مجهودات كل المكتشفين السابقين مجهودات فردية ، لم تترك إلا آثاراً محلية محدودة . وكما هو الشأن فى الاكتشافات التى تغير أنظمة ثابتة ، فإنها تبقى فردية حتى يتبناها من له القدرة العملية الفائقة بنشرها على مدى واسع ولمدة طويلة تكفى للفت نظر العامة والخاصة إليها فى وقت يكون الوعى قد انتشر إلى مزاياها ، والاحتياجات والظروف العملية قد تهيأت لقبولها وشيوعها .

مرحلة التطور : الخرسانة المسلحة — وهى ما زالت فى مراحلها الأولى — واجهت منافسة شديدة من الإنشاء الحديدى ، إلا أنها تميزت بمقاومتها للحريق . وقد زادت الحاجة إليها بعد أن أثبتت التجارب فى المعامل وفى المبانى الواقعية هذه الحقيقة . غير أن هذه المادة فى هذه المرحلة لم تكن مستعدة للاستعمال العام . فما زالت هناك بحوث طويلة لإرساء قواعد نظرية وعملية ثابتة .

أهمية مونييه بالنسبة لتاريخ الخرسانة المسلحة ترجع إلى أنه هو الذى أدخلها إلى ألمانيا ومنها إلى عموم الإمبراطورية النمساوية الهنغارية . ففى سنة ١٨٧٩ رأى مهندس مدنى — وهو مقاول ألمانى يدعى وايس (G. Wayss)[٤٢] — بعضاً من كمرات مونييه معروضة فى معرض أنتورب ، واشترى الحقوق الألمانية لاستعمالها . وفى سنة ١٨٨٠ اشترى رودلف شوستر (Rudolph Schuster) الحقوق النمساوية وكون وايس الشركة النمساوية الألمانية التى استمرت حتى سنة ١٨٩٣ حين اندمجت فى شركة وايس وشركاه .

وللمهندسين الألمان يرجع فضل كبير فى تطور الخرسانة المسلحة . ففى سنة ١٨٨٧ نشر وايس كتابه "طريقة مونييه — هيكل حديدى مع حشو خرسانى — واستعمالها فى المبانى" . وقد اهتم وايس فى كتابه بالأعمال المدنية ، مع أن عنوان الكتاب يشير إلى أعمال المبانى . وقد استعمل وايس الخرسانة المسلحة ليس فقط فى خزانات الغاز والماء ، بل فى المساكن والكبارى والأعمال المائية إلخ . وكانت تسجيلات مونييه هى المصدر الوحيد للخرسانة المسلحة الألمانية حتى ذلك التاريخ ، لذلك سموها إنشاء مونييه (Monierbau) (أشكال من ١١ إلى ١٣) . ولم يتغير هذا الاسم إلى الإنشاء بالخرسانة المسلحة (Eisenbetonbau) أو (Betoneisenbau) إلا بعد ظهور طرق أخرى للإنشاء بالخرسانة المسلحة .

وقد قطعت ألمانيا شوطاً كبيراً فى الميدان النظرى حيث حققت أحسن النتائج . فى الوقت الذى كان المهندسون الألمان لديهم نظريات كاملة عن طريقة حساب الكمرة والبلاطة كان التسليح فى إنجلترا يحسب كنسبة بسيطة من مسطح الخرسانة* . وقد تطور الاتجاه العلمى النظرى فى ألمانيا على يد م. كونن (M. Koenen) وقد كان فى وقت من الأوقات مديراً لشركة الخرسانة وإنشاء مونييه ببرلين . وقد وضعت نظريات كونين الأساس لحسابات الأرضيات والعقود والمواسير الأسطوانية والخزانات المائية .

وقد كان لفرنسا دور كبير فى تطوير الخرسانة المسلحة ، وذلك نتيجة لمجهودات وعبقرية فرانسو هنبيك (Francois Hennebique) وهو الرجل الذى يرجع إليه الفضل فى نشر الخرسانة المسلحة، وتعميم استعمالها كمادة إنشائية معتمدة ؛ لأنه جمع القدرة العملية مع قوة الدعاية على المدى الطويل . وقد أسس مكتباً لتطوير هذه الطريقة ونشرها وقد توسع هذا المكتب حتى أصبح مهندسوه مسئولين عن أغلب الإنشاءات الخرسانية فى العالم** . وكان أول استعماله للخرسانة المسلحة سنة ١٨٧٩ فى منزل صديق له يدعى م. مادو (M. Madux) فى لومبارزايد (Lombarzeide) بجوار وست إند (Westende) وقد استعمل هنبيك كمرات خرسانية سابقة الصب بدلا من الكمرات الخشبية . وفى السنة التالية استعمل فى بنائه بيتاً للبستانى لنفس العميل الكانات لربط الأجزاء العليا والسفلى من الخرسانة ولمقاومة قوى القص فى الكمرات . وقد كان هذا الاختراع ، بالإضافة إلى تكسيحه للحديد فوق الأعمدة ، أساساً لبراءات اختراعاته الأولى . وقد استمر هنبيك فى إجراء تجاربه سراً على الأعمدة والكمرات والبلاطات مدة الاثنى عشر السنة التالية ، حتى وصل سنة ١٨٩٢ لطريقة علمية كاملة للإنشاء الهيكلى (Framed Construction) (أشكال ١٤ إلى ١٨) .

ومع استحالة البت فى نسبة المنقول من اكتشافات هنبيك عن ألمانيا ، أو أمريكا ، أو عن الأعمال السابقة له فى فرنسا ، فإن الآراء قد أجمعت على أنه بفضل شجاعته ومثابرته التى لا تكل تمكن من تعميم هذا الإنشاء المستحدث وأنشأ به أجرأ مشروعات هندسية فى القرن التاسع عشر .

وبمجرد أن حصل على براءات اختراعات فى فبراير وأغسطس سنة ١٨٩٢ فى بلجيكا وفرنسا انصرف عن عمله كمقاول وابتدأ عمله كمهندس استشارى . وضم لمنشآته عدداً من بيوت

---

* مستر فيليب هوبز (Philip Hobbs) مدير شركة ولكنصن أبلغ (Northern Architectural Association) أن مسطح الحديد يمكن أن يحسب بكل دقة على أساس $\frac{1}{16}$ من مسطح الخرسانة (٤٣) .

** ما زال المكتب من أنجح الهيئات المسئولة عن الاستشارات الإنشائية بالخرسانة المسلحة فى باريس .

المقاولات الموثوق بها ، ومنحهم حقوق تشغيل اختراعاته على شرط احترام مواصفاته بكل دقة . وبهذه الطريقة توسعت أعماله وأرباحه خلال الشركات التي انضمت إليه مع احتفاظه بالإشراف العام على المستوى الفني لهذه الأعمال . وقد كان هنبيك مهتماً بالدعاية ، وإصدار النشرات ، وعقد المؤتمرات في باريس ، وكان أولها سنة ١٨٩٧ . كما أصدر مجلة شهرية باسم «الخرسانة المسلحة» ظهرت في يونيو سنة ١٨٩٨ .

وقد ابتدأ هنبيك بإنشاء الأعمال المدنية ثم اتجه إلى المباني الانتفاعية الصناعية التي تبرز فيها مزايا الإنشاء الجديد : أولها المصفى الباريسية بسانت أوين (Raffinerie Parisienne, St. Ouen) سنة ١٨٩٤—١٨٩٥ ثم تبعها بمصنعين للغزل في توركوان (Tourcoing) سنة ١٨٩٥ (شكل ٤١) وفي فيف (Fives) عام ١٨٩٦ والرابع لمصنع دقيق الطاحونة المثالية (Le Moulin Ideal) في نورت (اللوار) (Nort — Loire — inf.) في عام ١٨٩٨ ، وجميعها مبان من طابق واحد أو عدة طوابق ذات أعمدة وبلاطات خرسانية بينها حوائط زجاجية لتوفير الإضاءة وهو تصميم جديد لهنبيك للمباني الصناعية المتعددة الطوابق . وأخذت أعماله تتوسع في السنين التالية حتى إنه في سنة ١٨٩٨ مثلا كانت لديه ٨٢٧ عملية .

وفي سنة ١٨٩٨ بنى لمنشآته مقراً من خمسة طوابق على قطعة أرض على ناصية شارع دانتون وميدان سانت ميشيل في باريس (شكل ١٩) . وقد كلف المعماري أرنود (E. Arnaud) ليصمم له مبنى تتحقق فيه ميزات الخرسانة المسلحة من ناحية الشكل والتوزيع الداخلي . وقد حقق بهذا المبنى نصراً كبيراً على المباني الحجرية نظراً لحوائطه وأسقفه الرفيعة ؛ إذ تمكن من زيادة المسطح المستعمل بأكثر من ثمانية أمتار مربعة لكل طابق ، مع زيادة طابق كامل في حدود قوانين الارتفاعات المعمول بها في ذلك الوقت[٤٤] . وقد كانت هذه التجربة العملية بعد شيوعها سبباً في ازدياد استعمال الخرسانة المسلحة في المباني السكنية في أوائل القرن العشرين .

وبمرور الوقت أثبتت التجارب دون أدنى شك ميزة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية مضادة للحريق وبذا ازداد استعمالها في المباني المعرضة للحرائق ، كما حدث في المسرح الذى كلف هنبيك بتصميم صالاته الكابوليه من الخرسانة في مدينة مورج (Morges) بسويسرا عام ١٨٩٩ . هذه الصالات تبرز حوالى ٣ أمتار عن حائط المباني الحامل . ورغم تواضع هذه الكوابيل فإنها تعتبر الأولى من نوعها . وقد تبعها هنبيك بمحاولة أخرى سنة ١٩٠٠ في مسرح في بيرن وفيه استعمل هنبيك هيكلا كاملا وبلكونات كابولية من الخرسانة المسلحة . وقد تلا ذلك عدة مسارح برزت فيها ميزات الخرسانة المسلحة في هذا

النوع من المبانى . وقد نفذ هنبيك بلاطات متاحف القصر الصغير والكبير بباريس (Grand et Petit Palais) سنة ١٨٩٨ ، وهذه أنشأت فى الشانزليزيه بمناسبة معرض باريس لعام ١٩٠٠ . وبالاضافة إلى البلاطات فقد صمم للقصر الصغير سلمين حلزونيين من الخرسانة . وقد كان معرض باريس سنة ١٩٠٠ مجالا أمام هنبيك لتنفيذ عدد من الهياكل الخرسانية لقصور العرض : كقصر الآداب والعلوم والفنون ، ولو أنها جميعاً استعملت كحوامل مختفية لواجهات مزيفة ثقيلة . وقد كان هذا المعرض فرصة كبيرة للدعاية ونشر الإنشاء الجديد ، فقد نفذت فيه فراغات ببحور ١١ متراً وكوابيل تبرز ½ ٣ أمتار ، كما كان سبباً مباشراً لنشر الإنشاء الخرسانى فى أوربا وخاصة إيطاليا وهولندا . ويعتبر قصر المياه فى نفس المعرض من المشروعات الجريئة التى تحققت نتيجة لاستعمال الخرسانة المسلحة . وقد صممه المهندس الفرنسى ف. كونييه الذى ساعدت تجاربه مع المهندس دى تودسكو (De Todesco) على تطوير الخرسانة المسلحة لتصبح مادة إنشائية ذات أساس علمى سليم .

وفى سنة ١٩٠٢ أى بعد مرور عشر سنوات على إنشاء مكتب هنبيك توسعت أعماله إلى أن بلغ معدلها حوالى ١٥٠٠ عقد سنوياً . كما كان مديراً لمنشأة دولية لها مقاولون مرخصون فى كل بلاد أوربا تقريباً . وحتى سنة ١٩١٧ أتم هنبيك حوالى ١٧٦٩٢ عقداً للمبانى وعدداً مماثلا من الأعمال المدنية (٤٥) .

وقد قرر بعد جمعه لثروة طائلة بعد معرض باريس بناء مسكن كبير من الخرسانة المسلحة له ولأسرته فى قرية بورج – لا – رين (Bourg-La-Reine) بجوار باريس بحيث يستعمل فيه كل إمكانيات مادته الجديدة ، وبخاصة إمكانياتها فى عمل الكوابيل على اختلاف أنواعها ومنها كوابيل البرج العالى الذى يحتوى على خزان المياه . وبجانب الكوابيل والاستعمال الكثير للزجاج فقد احتوى المنزل على عدد من الأمثلة الإنشائية الجديدة ، منها استعمال البلاطات السابقة الصب بسمك ١ بوصة إلى ½ ١ بوصة وارتفاع ١٤ بوصة كشدات دائمة لتوفير الشدات الخشبية (٤٦) ، كما أنها كونت بركامها المكشوف السطح الخارجى للواجهات بدون احتياج لأى رتوش . والملاحظ أن هذه الحوائط حاملة على فى حين استعمل هنبيك الهياكل الخرسانية فى مبانى المصانع .

وبالتدريج انتشر الإنشاء الخرسانى فى أوربا خارجاً عن نطاق احتكار هنبيك له * بظهور مهندسين إخصائيين فى فرنسا وغيرها ، وظهور براءات اختراعات أخرى كما كتبت كتب عديدة فى الموضوع

* انتهت المدة القانونية لتسجيلات هنبيك عام ١٩٠٧ إلا أن طرقه أصبحت شائعة الاستعمال قبل هذا التاريخ .

وبعضها كتبه بعض أعضاء مكتب هنبيك ، ومنهم بول كريستوف(Paul Christophe)[٤٧] وقد أصبح الإنشاء الخرسانى عاماً بعد أن تدخلت الحكومة الفرنسية لوضع مواصفات لاستعماله حيث كونت لجنة خاصة من وزارة الأشغال سنة ١٩٠٠ تحت رئاسة كونسيدير (Considere) كبير مهندسى الطرق والكبارى وعضوية أكبر أخصائى الخرسانة ، ومنهم هنبيك نفسه . وقد كان الأعضاء متخوفين على مستقبل الخرسانة من جراء تدخل السلطات فى تطورها ، ولو أن هذه المخاوف زالت وصدرت المواصفات الرسمية سنة ١٩٠٦ . وبهذا القانون كسبت الخرسانة المسلحة الاعتراف الرسمى بها وأصبحت مادة معتمدة للتصميم المعمارى .

الولايات المتحدة :

الإنشاء الخرسانى كان دائماً وما زال إنشاءً معقداً بالنسبة لحالة العمالة فى أمريكا بالاضافة إلى ما يتطلبه من وقت . وقد دارت مناقشات وظهرت كتب ومقالات حول هذا الموضوع . وقد كان انخفاض نفقات التأمين على المنشآت الخرسانية عاملا مشجعاً على استعمالها ، ولو أن نقص الأيدى الفنية والمتمرنة على الخرسانة ونقص المشرفين كان دائماً عائقاً أمام المصمم[٤٨] ، بجانب عدم ثقة المصمم ذاته فى طريقة سلوكها . وقد أوردت مجلة البناء (The Builder Magazine) أن مستر ج. ب. بوست (G.B. Post) ممثل الولايات المتحدة فى مؤتمر بلندن عام ١٩٠٦ قال :

« إنه ربما يكون من الطرافة للأعضاء الحاضرين أن يعرفوا أن المعماريين العاملين فى الولايات المتحدة استعملوا الخرسانة الحديدية (Ferro — Concrete) بتخوف كبير . وذلك لعدم وجود حقائق ثابتة معتمدة لحسابات الإجهادات حتى إنهم لم يعرفوا موضع محور التعادل للكمرات تحت الأحمال المختلفة »[٤٩] .

وقد اتجهت المجهودات الأمريكية بطبيعة الحال إلى تبسيط الإنشاء بالخرسانة المسلحة ، ولقد كان الوصول إلى طريقة سهلة فى التسليح أحد أهدافهم . ومن الطرق الشائعة حوالى سنة ١٩٠٠ فى أمريكا طريقة استعمال الشبك الممدد[٥٠] . فبجانب الوفر فى التسليح هيأت هذه الطريقة تماسكاً أكبر بين الحديد والخرسانة . وقد تكلم و . م. بيلى (W.M. Bailey) سنة ١٩٠١ — وهو عضو فى جمعية المهندسين المدنيين البريطانيين — عن طريقة الشبك الممدد بقوله : « الشبك الممدد يكون وسادة توزع الحمل فى جميع الاتجاهات ، الجميع يعمل كإنشاء واحد متماسك »[٥١] .

وقد استعملت هذه الطريقة فى الولايات المتحدة فى البلاطات ، وكذلك فى العقود والكبارى

(شكل ٢٠) ومن أمثلة ذلك كوبرى أنشأ سنة ١٩٠٠ على هيئة عقد فى أوكونوموك (Oconomowoc) بولاية وسكنسن مستعملا خوص مسطحة وطبقة من الشباك الممدد نمـ ١٦ وشبكة سعة ٢½ بوصة. وقد ذكر بيلى أمثلة أخرى منها: مصانع لب الخشب فى ولاية مين بقطر ١٤ قدماً ومخزن مصمم بواسطة شركة إيسترن للشباك الممدد (Eastern Expanded Metal Co.) ومنفذ بواسطة شركة خرسانة منهاتن (Manhattan Concrete Co.) (شكلى ٢١، ٢٢).

ومن أشهر من أثروا فى تطور الخرسانة المسلحة فى أمريكا ووصلوا بها لنتائج ناجحة ارنست لزلى رانسوم المشرف على شركة أحجار الباسفيكى (Pacific Stone) بسان فرنسسكو (أشكال من ٢٣ إلى ٢٦). ولا يمكن البت فى احتمال معرفة رانسوم باكتشافات هايات ووارد ولولم يشاطر وارد فى ثقته فى تماسك الخرسانة والأسياخ الدائرية، لأنه فى سنة ١٨٨٤ سجل اختراعاً لقضبان ملوية بزاوية ٢٠° بغية منعها من الانزلاق فى الخرسانة [٥٢].

ومن أوائل أعمال رانسوم الهامة المتحف الصغير بجامعة ستانفورد بكاليفورنيا سنة ١٨٨٩ — ١٨٩١ (شكل ٣٥) وفيه استعملت الخرسانة فى الحوائط والبلاطات. أما السقف فكان من جمالون حديد مكسو ببلاطات خرسانية. وقد عالج رانسوم الواجهة ليظهر ملمس الركام. وقد كان هذا الاستعمال سابقة تاريخية لاستعمال الخرسانة كمادة نبيلة خارجية. كما بنى فى نفس السنة (١٨٨٩) أول كوبرى من الخرسانة المسلحة فى أمريكا فى جولدن جيت (Golden Gate) بسان فرانسسكو[٥٣] وفيه استعمل أسياخاً ملوية على المحيط الداخلى والخارجى للعقود الخرسانية. وقبل سنة ١٨٩٠ بنى رانسوم أكاديمية العلوم بسان فرانسسكو مستعملا بلاطات خرسانية وأعمدة حديدية. وقد بنى رانسوم عدة مبان صناعية على الشاطئ الغربى كمصنع لشركة بوراكس الساحل الباسفيكى (Pacific Coast Borax Co.) فى الميدا (Almeda) بكاليفورنيا. وفيه استعمل لأول مرة الأعمدة الخرسانية والبلاطات على هيئة حرف (T). ثم نقل طريقته إلى الشاطئ الشرقى ببناء مصنع خرسانى كبير لنفس الشركة فى بايون (Bayonne) بولاية نيوجرسى. والمصنع عبارة عن مبنى ٢٠٠ قدم طولا و ٧٥ قدماً عرضاً مقسم إلى باكيات ٢٤ قدماً طولا و ١٢ قدماً عرضاً. وبه أسقف تحمل أكثر من ١٠٠٠ رطل فى القدم المربع تحملها أعمدة وحوائط خارجية خرسانية[٥٤]. هذه المصانع تختلف عن مصانع هنبيك فى أن حوائطها حاملة، ومن ثم فإنها سميكة وذات فتحات صغيرة.

بعد ذلك، وابتداء من سنة ١٩٠٠، طوّر رانسوم طريقته لإنشاء المصانع إلى استعمال الهيكل

الخرسانى ، واختفت الحوائط السميكة لتحل معها بلاطات وأعمدة بينها حوائط خرسانية رفيعة مصبوبة على الموقع . وقد سجل رانسوم اختراعه سنة ١٩٠٢ واستعمله فى بناء مصنع آلات كيلى وجونز (Kelly & Jones) فى جرينزبرج (Greensburg) بولاية بنسلفانيا . وهو مصنع من أربعة طوابق مسطحة ٣٠٠ قدم طولا و ٦٠ قدماً عرضاً وفيه استعمل أعمدة خرسانية ذات تسليح حازونى من استنباط المهندس الفرنسى ارماند كونسيدير (Armand Considere) وقد استمر رانسوم فى أعماله ، ولو أن الميدان ازدحم تدريجياًّ بآخرين كان من أهمهم شركة جوليوس كان (Julius Kahn) التى عملت مع مكتب معمارى ذى شهرة فى المبانى الصناعية ، وهو مكتب ألبرت كان (Albert Kahn) ، ومكتب هنرى تيرنر (Henry Turner) أحد موظفى رانسوم السابقين الذى أنشأ شركة تارنر للإنشاءات سنة ١٩٠٢ .

* * *

ومن عدد الإنشاءات الخرسانية وتنوعها بين عامة وخاصة فى بداية القرن العشرين يمكن التأكيد بأن الخرسانة المسلحة قد اكتسبت فعلا القبول الشعبى والهندسى . وبين الطرق العديدة التى ظهرت فى ذلك الوقت نرى أن الطرق الأكثر عملية وملاءمة قد سادت الميدان . وهذه هى طرق مونييه وهنبيك وكونسيدير فى أوربا وطريقة رانسوم فى أمريكا *. كما ظهر أن الطرق الأوربية قد احتلت مكاناً مفضلا نظراً لمرونتها واحتمالات تطبيقاتها الواسعة .

وبهذه التطورات انتقلت الخرسانة المسلحة من مرحلة المحاولات الاستكشافية الجريئة إلى مرحلة الاستعمال الثابت فى الميدان المعمارى . وأصبح على المعماريين أن يتلمسوا طريقهم مع هذه المادة المستحدثة ذات الخواص الفريدة .

---

* ظهرت طرق أخرى منها طريقة ونش (Wunsh) التى وضع أسسها روبرت ونش فى هنغاريا سنة ١٨٨٤ وطريقة ميلان (Melan) التى طورها ج . ميلان بالنمسا وسجلها فى الولايات المتحدة سنة ١٨٩٢ .

٢

التشكيلات المعمارية الأولى بالخرسانة المسلحة

كتب راسكن عام ١٨٤٩ فى مصباح الطاعة * معبراً عن الاتجاه المعمارى فى القرن التاسع عشر :

« لانريد طرازاً جديداً ، من يريد طرازاً جديداً فى التصوير والنحت ؟ نحن نطلب طرازاً ما . إذا كانت لدينا مجموعة قوانين ، فإنه من غير المهم كونها جديدة أو قديمة مستوردة أو محلية . . .

الأشكال المعمارية التى نعرفها جيدة بالنسبة لنا ، وهى أفضل كثيراً من أى منا ، وسيمضى وقت قبل التفكير فى تغييرها إلى الأحسن إذا كان من الممكن استعمالها كما هى ، ولكن هناك بعض الأسس التى لانريدها فقط ، بل لانستطيع العيش بدونها . . . وهى الطاعة والوحدة والزمالة والنظام»[١].

« والذى فى وسعنا أن نحصل عليه ، ومن واجبنا أن نقرره ، هو طراز عام من نوع ما ، فهمناه وجربناه ، بحيث يمكننا أن نوفق أشكاله للطابع الخاص لجميع مبانينا كبيرة كانت أم صغيرة ، سكنية كانت أم دينية . لقد قلت إنه ليس من الأهمية بمكان أى طراز نختار مادام تطوره يسمح بدرجة معقولة من التجديد ، وبصورة أهم مدى تقبله للاحتياجات المعمارية العامة . . . . ومن ثم يصبح اختيار الكلاسيكية أو القوطية — والأخيرة بمعناها الواسع — مشكوكاً فيه بالنسبة لاستعمالها فى مبنى مفرد وكبير من مبانينا العامة ، وغير مشكوك فيها مطلقاً بالنسبة لاستعمالاتنا الحديثة على وجه عام»[٢].

بعد أن شكك راسكن فى صحة الاستعمال الحديث للطرز الكلاسيكية كالإغريقية مثلا أو الطراز القوطى فى أوائل وأواخر تطوراته — القوطى الفرنسى اللهبى (French Flamboyant) مثلا — حصر اختياره فى أربعة طرز ، أولها طراز بيزا الرومانسكى ، وثانيها القوطى المبكر لجمهوريات إيطاليا الغربية متطوراً حسب إمكانيات العصر إلى قوطى جيوتو (Giotto) . أما الاختياران الثالث والرابع فقد حصرهم راسكن بين قوطى ڤينيسيا فى أنقى مراحله وبين القوطى الإنجليزى المزخرف (English Decorated) . وقد فضل الأخير على أنه الطبيعى والأكثر ملاءمة على أن يحلى بوحدات زخرفية من الطراز القوطى الفرنسى المزخرف .

كتب راسكن ذلك فى منتصف القرن التاسع عشر ، وقد سبقه ما يزيد على نصف قرن سادت فيه الرومانتيكية نحو الماضى ، نحو التاريخ ، نحو القديم ، نحو الضخامة ، نحو الطبيعة . اتخذت هذه الرومانتيكية من ناحية التطبيق إتجاهين أخذا صفة الدولية : الأول رومانتيكى كلاسيكى قام فى فرنسا

* أوجين راسكن من أشهر كتاب وفلاسفة عمارة القرن التاسع عشر ، وقد أثرت كتاباته بطريقة إيجابية أو سلبية فى عمارة القرن التاسع عشر وفى المراحل الأولى من عمارة القرن العشرين ومصباح الطاعة هو أحد سبعة مصابيح معمارية ضمنها كتابه
(The Seven Lamps of Architecture) John Ruskin, Bernhard Tauchnitz. Leipzig, 1907.

على تعاليم دوران (Durand)* وانتشر إلى ما حولها من دول النمسا وألمانيا وإيطاليا ، وانتشر شمالا إلى البلاد الإسكندنافية ، وامتد شرقاً إلى روسيا ، وعبر الأطلسى غرباً إلى أمريكا فيما عرف باتجاه إحياء الطراز الإغريقى (Greek Revival) . كما تركز الآخر على الجزيرة البريطانية فى تشكيل قوطى وعبر المانش إلى أوربا والأطلسى إلى أمريكا ، وتطور ليصبح طرازاً مميزاً للعصر الفكتورى . ومن الاتجاهين ظهرت تطورات نحو الصور المختلفة لطراز عصر النهضة فى فرنسا وإنجلترا وما عرف بالروندبوجنشتيل (Rundbogenstil) فى ألمانيا ، وطراز الإمبراطورية الثانية فى فرنسا ، والطراز الفيكتورى العالى القوطى فى إنجلترا وأمريكا فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر .

وقد نلمح فى كتابات راسكن واقتراحاته إضافة زخارف قوطية فرنسية على طرازه المفضل وهو القوطى الإنجليزى المزخرف ، آثار فلسفات سابقة وتطبيقات معمارية معاصرة ولاحقة . هذه الفلسفات — وهى ماعرفت باتجاه الاقتباس ظهرت لأول مرة فى الثلاثينيات فى فرنسا فى كتابات ومحاضرات الفيلسوف الفرنسى فكتوركوزان** (Victor Cousin) . وهى تعنى طريقة مركبة للتفكير تحتوى على آراء مختاره من اتجاهات مختلفة . هكذا يرى المقتبس منطقياً أنه لا ينبغى لأى فرد أن يقبل قبولا أعمى من الماضى أسطورة نظرية فلسفية معينة (أو اتجاهاً معمارياً معيناً) حاذفا كل النظريات الأخرى . ولكن من الواجب الانتقاء فكرياً وبحرية من الحقائق الفلسفية أو التشكيلات المعمارية التى استعملت فى الماضى ما يراه مناسباً للحاضر ، ومن ثم يعترف بها ويحترمها فى أى مضمون تظهر فيه . لقد اتجهت هذه النظرية الجديدة إلى الوصول إلى نظرية فلسفية حية عاصرت سعى المعماريين إلى الوصول إلى عمارة حية (Living Architecture) كسبيل للتخلص من النقل الاركيولوجى الذى ساد عمارة النصف الأول من القرن التاسع عشر . وهكذا وجد المعماريون المخلصون فى منتصف القرن فى هذه الفلسفة الجديدة مخرجاً من فوضى « الأحياء » إلى مهاوى « الاقتباس » . هذا المخرج يسمح باختيار وحدات معمارية من كل طراز مع تعديلها لتناسب الاحتياجات المعاصرة .

وقد كتب توماس هوب (Thomas Hope) عام ١٨٣٥ شاكياً من تنوع الطرز فى إنجلترا قائلا :
« لم يبد أحد بعد الرغبة فى الاقتراض من كل طراز معمارى ما يمكن أن يقدمه من نفع أو زخرفة

---

* نشر البروفيسور دوران (Durand) أستاذ العمارة فى مدرسة (Ecole Polytechnique) كتابه فى جزأين عام ١٨٠٢ — ٥
"Precis des Lecons d'architecture donnees a L'Ecole Polytechinque"

** نشرت هذه المحاضرات فيما بعد فى كتاب بعنوان (The True, the Beautiful & the Good, 1853.)

ومن ميزة علمية أو جمالية ، مع إضافة ما يجد من معدات أو أشكال تكفل الراحة أو الجمال ، مع جعل الاكتشافات والفتوحات الجديدة غير المعروفة للأجيال السابقة أمثلة جديدة للتقليد والمحاكاة أكثر جمالا وتنوعاً . ومن ثم تنشأ عمارة في بلادنا نمت في أرضنا في توافق مع جونا ومؤسساتنا وعاداتنا »[٣] .

لم تنجح هذه الفلسفات رغم ظاهرها المنطقي في خلق عمارة حية ، أو حتى في توحيد الاتجاهات المعمارية في بلد معين ، بل شجعت على دراسة كل الطرز السابقة للعالم الغربي ، وكذلك طرز الشرقين الأوسط والأقصى . وتصرف المعماريون كوارثين لكل هذا التراث السابق وبتقدير أقل للقيم التي حكمت هذا التراث السابق . وشيئاً فشيئاً حلت الكتب والكتالوجات والمراجع التاريخية محل ملكة الخلق والإبداع وامتلأت أعمال كبار معماريي العصر باقتباسات حرفية من أمثلة سابقة من عصور مختلفة تجمعها واجهات ودواخل مبانيهم ، وهذه ازدحمت بالزخارف والبروزات والكرانيش والأعمدة والتماثيل والأبراج والأسقف .

وقد وصف المعماري الأمريكي البروفسور ليوبولد أرنود (Leopold Arnaud) هذه الفترة بقوله :

« فترة الاقتباس في القرن التاسع عشر كانت تعبيراً عن الثقة بالنفس المتوهمة الناتجة عن معرفة أكاديمية أركيولوجية بمظاهر الماضي — وما هي في الحقيقة إلا حيرة وبلبلة ناتجة عن عدم دراية بأشكال جديدة غريبة ظهرت نتيجة للتقدم التكنولوجي »[٤] .

عاصرت فترة الاقتباس مراحل تقدم تكنولوجي ثوري في الإنشاء بالحديد الزهر والمطاوع في أواخر القرن الثامن عشر وفي القرن التاسع عشر ، وبالصلب والخرسانة المسلحة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . ظهرت هذه المواد الإنشائية ذات الإمكانيات الواسعة ولم تلق التفاتاً من المعماريين لأنها مواد غير نبيلة ، مواد من صنع الإنسان ، وليست طبيعية . والمعماريون في هذا كانوا مرتبطين عن عقيدة وذوق وتجربة بالمعتقدات التقليدية التي تقرر أن المواد الإنشائية الطبيعية هي أرقى المواد وأجدرها بالاحترام لكونها مواد دائمة . ولذا فقد التزموا باستعمال الأحجار بأنواعها وألوانها المتباينة من فاتحة إلى بنية قاتمة (Brownstone) ، ومن أحجار جيرية هشة إلى جرانيتية صلبة . وفي حالة عدم توافر الحجارة استعملوا الطوب الذي أشبع اتجاهاً جمالياً ساد في منتصف القرن التاسع عشر نحو تعدد الألوان فاستعملوا الطوب الأحمر والأسود بمفرده أو مع الحجارة . وربما كان أحسن ما نصف به اتجاه العصر نحو المواد الجديدة ما قاله راسكن في مصباح الحقيقة :

« لايوجد سبب يمنع استعمال الحديد أو الخشب ، .ويبدو أن الوقت قد قرب لظهور قوانين معمارية تحكم الإنشاء المعدنى . . . غير أنه من الممكن أن أقرر أن العمارة الحقيقية لا تسمح باستعمال الحديد كمادة إنشائية ، وأن أعمالا مثل البرج الأوسط لكتدرائية رووان (Rouen) أو الأسقف الحديدية والأعمدة فى محطات السكك الحديدية وفى بعض كنائسنا ، لاتعد من الأعمال المعمارية بتاتاً . غير أنه من الواضح أن المعادن يمكن — ومن الضرورى فى بعض الأحوال — أن تدخل فى الإنشاءات لحد محدود . . . كما أننا لا ننكر على المعمارى القوطى حقه فى تحميل التماثيل أو الأبراج أو التشابيك بقضبان من الحديد . كما أنى أقدر كيف نسمح لبرونلسكى باستعمال سلاسل حديدية حول قبته فى فلورنسا أو لبنائى سالسبرى باستعمال روابط حديدية معقدة حول البرج الأوسط . . . إنى ما زلت أعتقد أن المعادن يمكن أن تقوم مقام الأسمنتات كروابط لا كحوامل . . . لا يوجد سبب يمنع استعمال القضبان والصواميل الحديدية بدلا من الأسمنت فى باطن الحوائط وذلك للوصول إلى نفس القوة والترابط أو زيادتها » (٥).

لقد تكلم راسكن عن الإنشاء الحديدى متأثراً بعاطفته وإحساساته تجاه المادة ، وقد تكلم بعقله فى مجال آخر ، بما يناقض عواطفه وإحساساته :

« لايوجد قانون أو مبدأ مبنى على تجربة سابقة لايمكن قلبه فى لحظة ظهور ظروف جديدة أو اختراع مادة جديدة » (٦) .

هذا الانقسام بين العقل والعاطفة وهو الانقسام الذى يميز التصرفات الإنسانية خلال القرن التاسع عشر ظهرت آثاره فى هوة عميقة فصلت بين الفن والتكنولوجيا وبين الفن والحياة ، وبالتالى بين العمارة والإنشاء . ابتعد المعماريون فى أبراجهم العاجية الرومانتيكية عن أى تطور تكنولوجى إنشائى يتم تحت أسماعهم وأبصارهم . لقد تطورت المنشآت الهيكلية بالحديد والزجاج بفضل التكنولوجيين أمثال سير جوزيف باكستون (Sir Joseph Paxton) الذى غطى بوحدات جاهزة ذات معدل ثابت مسطحات قاربت العشرين فداناً فى ستة أشهر فى القصر البللورى بهايد بارك عام ١٨٥١ (عامين بعد نشر راسكن لأقواله السابقة) . كما أنشأت بالحديد والزجاج مصانع متعددة الأدوار ومحال تجارية وأسواق وصوبات وصالات معارض دولية فى باريس أعوام ١٨٥٥ ، ١٨٦٧ ، ١٨٧٨ بلغت مراحل بعيدة فى الكفاية الإنشائية معلنة ثورة فى الفراغ المعمارى ، بالغة ذروتها فى معرض باريس عام ١٨٨٩ . كل هذا والمعمارى ينظر إلى هذه المنشآت من بعيد معتبراً إياها مبانى انتفاعية خارج نطاق الأعمال المعمارية

الفنية التذكارية . وهكذا يتحدد الانقسام فى المبانى إلى مبان تذكارية وأخرى انتفاعية ، الأولى جديرة باهتمام المعمارى تخصص لها المواد النبيلة والأخرى تترك للمقاولين والمهندسين لتبنى بالحديد والصلب أو الخرسانة المسلحة .

وعندما اضطرت الظروف الاقتصادية والاحتياجات الانتفاعية المعماريين إلى استعمال المواد الجديدة وجدوا لهذه الظروف القهرية حلاً ، فلجأوا إلى تغليفها بكسوات من الحجارة أو الطوب ، القلب الحديدى أو الخرسانى لحمل الأوزان والعزوم والكسوات من الحجارة والطوب بالطرز التاريخية السابقة .

* * *

لقد عاصر التاريخ الأول للخرسانة المسلحة هذه الفترة بكل مظاهرها — فالمكتشف سواء أكان بناءً أم مقاولا كان يقوم بتطوير طريقة معينة للإنشاء ، ويحاول تطبيقها فى مبنى يعهد برسومه المعمارية لأحد المعماريين الذى يقوم بها على الطراز الذى يفضله دون علم أو دراية بمادة الإنشاء ، ثم يترجم المنفذ الواجهات المرسومة على الورق إلى حوائط وأسقف وكرانيش وأسوار بالخرسانة المكشوفة ، وقد تضطره طبيعة المادة إلى عمل تغييرات فى الواجهات وتبسيطات تلائم ظروف العمل ، وينتج عن ذلك مبنى أصله من طراز سائد غير أنه يختلف عن أصله فى بعض التفاصيل الطفيفة .

ويعطينا تاريخ الخرسانة أمثلة عديدة على ذلك فنجد أن فرنسوا كوانييه كلف سنة ١٨٥٣ المهندس المعمارى تيودور لاشيه (Theodore Lachez) لعمل رسوم منزله فى سانت دنيس أمام مصنعه (شكل ٢٧) ويعتبر المنزل من أوائل الأمثلة لاستعمال المعمارى للخرسانة فى مبنى معمارى ضخم بكرانيش وأسوار وبراويز حول الشبابيك ، ومن الملاحظ أن التصميم أظهر اتجاها نحو تبسيط التفاصيل الكلاسيكية .

وفى مشروع بناء كنيسة لفسينيه بجوار سانت جرمان على لاى (St. Germain-en-Laye) عام ١٨٦٤ حدث ما يمكن أن نعتبره مثالا لموقف المعماريين من الخرسانة . ففى مسابقتها فاز المهندس المعمارى لويس شارل بوالوه* بالجائزة الأولى سنة ١٨٦٢ بتصميم على الطراز القوطى ، وقد استعمل

---

* المهندس لويس شارل بوالوه هو ابن المهندس لويس أوغسط بوالوه . والأب من المستعملين الأوائل للإنشاء الحديدى وهو معمارى كنيسة سانت أرجين بباريس .

المعماري عقود وأعمدة من الحديد وحوائط حجرية منحوتة غير حاملة ، ومزخرفة بتفاصيل قوطية . وقد خاب أمله عندما فرض عليه استعمال خرسانة كوانييه بدلا من الأحجار فى الحوائط . وقد بنيت الكنيسة فعلا سنة ١٨٦٤ وما زالت قائمة فى حالة ممتازة بحوائطها الخرسانية غير الحاملة خارج هيكل حديدى من أعمدة وعقود (شكل ٢٨) . ومع ذلك فإن مهندسها المعماري لم يترك فرصة تمر دون أن يتبرأ من كل مسئولية فى استعماله لمثل هذه المادة غير النبيلة . وفى خطاب أرسله إلى نقيب المعماريين (Moniteur des Arechitectes) فى ديسمبر سنة ١٨٦٧ [٧] ذكر أنه لم يكن هناك تلاصق كاف بين الطبقات الخرسانية ، وأن الانكماش سبب شدوخاً كل ٥ أو ٦ أقدام ، وأن العمل كلف أربعة أمثال تكاليف الأحجار العادية . أما بالنسبة للشكل الزخرفى فإنه من غير المتوقع أن تنفذ بالخرسانة خطوط أو أسطح بنفس النقاء الذى يصل إليه التنفيذ بالأحجار المنحوتة .

وقد كانت المحاولات الأولى للمكتشفين متجهة نحو إثبات جدارة الخرسانة (الحجر الصناعى كما سميت مكعباتها فى إنجلترا) لأن تحل محل المبانى الحجرية فى منشآت من أى طراز معمارى مطلوب . ومن الأمثلة الأولى على ذلك عمارة كوانييه (سنة ١٨٦٧) ذات الطوابق الستة بباريس على ناصية شارعى نابلى وميروميسنيل (Naples & Miromesnil) وذات التفاصيل الدقيقة المماثلة لتفاصيل العمارات الباريسية المعاصرة . هذا وقد أضيفت عواميس مدهونة على السطح تقليداً للمبانى الحجرية (شكل ٢٩). كذلك نجد مجموعة المساكن التى بناها هنرى جودوين سنة ١٨٨٥ على شارع زوار (Zoar) بمدينة سوثوارك (Southwark) بإنجلترا (شكل ٣٠) ذات خمسة طوابق وسقف أفقى وتفاصيل معمارية من كرانيش وعقود منخفضة على محورها (Surbased arches) مما يجعلها وثيقة الصلة بطراز لويس الخامس عشر .

وبالرغم من أن هنبيك كان يهدف دائماً إلى إبراز المزايا المعمارية للخرسانة المسلحة — إلا أن أغلب أعماله المعمارية ، فيما عدا الصناعية منها ، سارت فى نفس الاتجاه السائد الذى نراه على سبيل المثال فى مبناه لمركز شركته السابق الإشارة إليه ، والذى صممه له المعمارى إدوارد أرنود عام ١٨٩٨ (شكل ١٩) . وعلى الرغم من أن المبنى استغل المزايا الانتفاعية الناتجة عن الخواص الإنشائية للخرسانة المسلحة فى تقليل أسماك الحوائط والأسقف ، مما نتج عنه زيادة فى المسطحات والطوابق المنتفع بها — إلا أنه كان أقل نجاحاً فى الوصول إلى لغة معمارية خاصة . وقد بنى أرنود تصميمه هادفاً الابتعاد ما أمكنه عن عمارة الإنشاء الحجرى . ولكون الخرسانة مادة مصبوبة ، ومن ثم فإنها تقبل

أى تشكيلات ، فقد وجد المعمارى نفسه فى حيرة لعدم وجود أسباب تجعله يفضل شكلا عن الآخر. وقد كان ما وصل إليه حرية فى الزخارف المصبوبة فى تصميمات وتكوينات مشابهة عموماً لما هو سائد فى باريس فى ذلك الوقت — كامتداد لطراز الإمبراطورية الثانية — من خارجات ذات أركان مشطوفة دائرية ، وبلكونات ذات أسوار مخرمة وأعمدة بأركانها تحمل عقوداً مزخرفة وكوابيل وبانوهات مملوءة بالزخارف ، الضخمة بالدور السابق للطوابق المرتدة . ولم يترك أرنود السطح الخارجى مكشوفاً كما فعل رانسوم بأمريكا ، بل غطاه بطبقة أسمنتية .

وقد استعملت الخرسانة المسلحة كمادة مضادة للحريق فى عدة مسارح فى أواخر القرن التاسع عشر ، ولم تخرج عمارتها عن الطراز السائدة كما فى مسرح بيرن بسويسرا الذى صممه المهندس ورستيمبرجر (Wurstemberger) بواجهة على طراز لويس الخامس عشر وخلفها هيكل خرسانى صممه هنبيك ، ومسرح ديكورنو (Decourneau) فى آچين Agen بمقاطعة لوت وجارون (Lot-et Garonne) بفرنسا (شكل ٣١) ، وهو الذى قالت عنه مجلة (Architectural Record) سنة ١٩٠٩ : « يتميز هذا المبنى بأنه على طراز لويس السادس عشر — وقد صممه المعمارى الباريسى المشهور جويلام ترونشيه (M. Guillame Tronchet) الحاصل على الجائزة الثانية فى مسابقة جائزة روما الكبرى ، وهو الآن أحد كبار المعماريين المشرفين على القصور القومية بفرنسا » [٨] .

وقد تكرر نفس هذا الاتجاه فى أمريكا ؛ وذلك بإضفاء طراز معين على مبانى الخرسانة المسلحة . وقد رأينا ذلك فى منزل وارد ببورتشستر الذى صممه المعمارى روبرت موك من نيويورك بحيث يكون « منزلا عظيماً مريحاً من الدرجة الأولى ، حوائطه كما لو كانت من الطوب بينها فراغات ، وأسقفه بالسمك المعتاد الذى يتطلبه البناء بالخشب المغطى بالبغدادلى من الداخل ، والمحلى بالبانوهات المزخرفة بالبياض »[٩] . والمبنى على طراز الإمبراطورية الفرنسية الثانية ، وهو الطراز السائد فى ذلك الوقت فى فيللات نهر الهدسن . وهو من طابقين يعلوهما كورنيش على الطراز الدورى والطابق الثالث مغطى بسقف شديد الميل من طراز مانسار (Mansard) . وتعتبر أعمدة التراس الدائرى بالدور الأرضى (شكل ٣٢) من مظاهر الاتجاهات الكلاسيكية لهذه الفترة . وعندما نفذت تصميمات موك بالخرسانة المسلحة ، استلزمت الضرورة العملية إجراء بعض التعديلات المعمارية . فالزخارف التى وضع موك تصميمها لمنزل من الدرجة الأولى بالطوب والبياض بسطت إلى حد ما عند تنفيذها بالخرسانة المسلحة . ويبدو ذلك جليًّا فى إطارات الشبابيك ذات القطاعات المستطيلة المبسطة (شكل ٣٣) . ولم تبذل أى

محاولة لتكسية الخرسانة من الخارج ، فتركت الحوائط الخرسانية مكشوفة دون تغطية بكسوة من الحجر أو البياض أو الطوب . وقد ظهرت التشابيك الخرسانية فى ذلك الوقت المبكر فى « دراوى » البلكونات (شكل ٣٤) .

ومن أمثلة الطرز الكلاسيكيه فى الخرسانة المسلحة بأمريكا ، مبنى المتحف الصغير بجامعة ستانفورد بكاليفورنيا (شكل ٣٥) ، والمصمم أصلا لمبنى بالحجر الرملى ، وقد بنيت حوائطه وأسقفه سنة ١٨٨٩ من الخرسانة المسلحة ، وواجهته الأمامية لها مدخل به صفان من الأعمدة الأيونية ويعلوها كورنيش كامل ودروة بها برامق . ورغم الاقتباس الظاهر فى هذا المبنى إلا أن أهميته ترجع إلى أنه من أوائل المبانى التى عولجت فيها الأسطح الخرسانية بطريقة الدق لإزالة القشرة الاسمنتية الخارجية وإظهار ملمس الركام الداخلى . ومع أن رانسوم قام بذلك محاولة منه لتقليد الحجارة ، إلا أنها تعد محاولة أولى للتعبير عن تكوين الخرسانة ذاتها على السطح الخارجى للمبنى .

ولقد سهلت الخرسانة كمادة قابلة للصب تحقيق أمثلة أخرى لعمارة الاقتباس ظهرت على ساحل أمريكا الغربى ، وهى تهدف إلى إحياء الطرز المحلية التقليدية الإسبانية منها ، وما سبق العصر الكولومبى والتى نفذت أصولها بالطوب والحجارة والخشب . وقد تمت أعمال معمارية كثيرة من هذا النوع فى أوائل القرن العشرين فى كاليفورنيا وبعض الولايات الجنوبية . وفيها استعملت أسطح مملوءة بالزخارف المعقدة بجانب أسطح ملساء بيضاء من الخرسانة المطلية بالجير فى حين برزت الطوابق العليا على كوابيل وهى فى مجموعها من مظاهر بعث الطراز الأسبانى . ومن أمثلة ذلك مسرح هوليود (Hollywood Playhouse) بهوليود — كاليفورنيا (شكل ٣٦) ، أما مسرح المايان Mayan بلوس أنجليس كاليفورنيا (شكل ٣٧) فمثل من أمثلة بعث طراز ما قبل العصر الكولومبى . كما قُلدت الطرز الفرعونية والإسلامية والصينية بالخرسانة فى عمارة هذه المنطقة كما نرى فى مخزن داوسن (Dawson) المضاد للحريق فى ستكتون (Stockton) بولاية كاليفورنيا (شكل ٣٨) ، ومعبد الملائكة بلوس أنجليس (شكل ٣٩) ، ومسرح جراومان (Grauman) الصينى المشهور بهوليود (شكل ٤٠) .

الثورة على الاقتباس

ارتفعت أصوات كثيرة وخاصة فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر تنقد التدهور السائد فى التصميم المعمارى ، والانقسام الذى يتزايد بين المعمارى والإنشاء الجديد ، والذى كانت من ظواهره وجود مدرستين فى باريس ، إحداهما لتدريس العمارة وهى مدرسة الفنون الجميلة (Ecoles des Beaux-Art)

والأخرى لتدريس العلوم الهندسية (Ecolès Polytechnique). وقد اعترض ڤيوليت لى دوك (Viollet-Le-Duc) على ذلك بقوله : « يجب تعليم وممارسة العمارة والإنشاء فى آن واحد . فإن كان الإنشاء هو الوسيلة ، فالعمارة هى الغاية » [١٠] .

وقد عبر سيزار دالى (Cesar Daly) عن هذه الروح الجديدة سنة ١٨٤٩ بقوله : إن عمارة جديدة تنقذنا من ركود الماضى . ومذلة الاقتباس هى مطلب كل فرد وهى ما ينتظره الشعب بفارغ صبر [١١] .

ماهو الطريق لهذه العمارة الجديدة ؟ إن الشعراء كتبوا ليوجهوا المعماريين للطريق الجديد ومنهم تيوفيل جوتييه (Theophile Gautier) الذى قال سنة ١٨٥٠ : « الإنسانية ستنتج عمارة جديدة فى الوقت الذى يتم فيه استعمال الوسائل الجديدة التى أنتجتها الصناعة الحديثة . وقد رأينا أن استعمال الحديد سمح باستعمال أشكال جديدة فى محطات السكك الحديدية والكبارى المعلقة وعقود الصوبات [١٢] .

هذه الأشكال الجديدة المنظورة التى أشار إليها جوتييه ، جميعها قام بها مهندسون إنشائيون لعبت أعمالهم فيما بعد لتكون جزءاً هاماً من تاريخ عمارة القرن التاسع عشر ، وفيها لعب الإنشائى أهم دور ، بينما لم يزد دور المعمارى إلى جانب وضع التخطيط العام ، على مجرد إضافته بعض الحليات هنا وهناك حتى تصبح الواجهة قريبة بقدر المستطاع إلى الذوق العام فى ذلك الحين . هؤلاء الإنشائيون وصفهم هنرى ڤان دى ڤلد بقوله : « هناك مجموعة من الرجال يجب منحهم لقب الفنان . هؤلاء الفنانون الذين ابتدعوا العمارة الجديدة هم الإنشائيون . إن الجمال غير العادى فى أعمال المهندسين يرجع إلى عدم إدراكهم لاحتمالاتها الفنية — كما كان خالقو الكتدرائيات الجميلة غير مدركين لعظمة تصميماتهم [١٣] .

وقد كان على المعمارى فى هذا الوقت اللحاق بالإنشائى ، وإلا فقد قدرته وحريته فى مجال التصميم المعمارى . لقد أصبح على المعماريين أن يجدوا التطبيق العملى لما جاء فى أقوال ڤيوليت — لى — دوك .

«من الضرورى أن نقرر ، حتى لو اعتبرنا غير متحضرين ، أن جمال المنشأ لا ينبثق من التحسينات التى تصحب حضارة متقدمة ، أو نهضة صناعية عظيمة ، وإنما من حسن استخدام المواد والوسائل التى توضع تحت تصرف البناء . وقد ينتج أحياناً مبنى معيب وسخيف ومثير للسخرية لا تدعمه أسباب منطقية أو اقتصادية بالرغم من استعمالنا مواد عديدة وعمال مهرة ، فى حين أنه من الممكن الوصول إلى منشأ جميل ومترابط باستعمال الحجر أو الخشب فقط» [١٤] .

اتجهت مجهودات المعماريين الخلاقين فى نهاية القرن إلى محاولة الوصول إلى الحلول المعمارية السليمة التى تضمن حسن استخدام المواد والوسائل التى توضع تحت تصرفهم ، ومنها الحديد والصلب والخرسانة المسلحة ، وذلك بالتعمق فى دراسة طبيعتها الإنشائية والفنية .

وقد أثارت الخرسانة المسلحة بالذات عدة اتجاهات ومناقشات متناقضة : فبينما تثير فى المجددين من المهندسين روح التجربة لما تفتحه من مجالات فى التصميم ، فإنها أثارت فى غيرهم — وبخاصة الذين تأثروا بآراء جون راسكن المثالية — دافعا لتفادى استعمالها كلية لأنها مادة استعملها الرومان ، وتبعاً لراسكن تكون محرمة ، بالإضافة إلى اعتباره استعمال أى زخرفة مصبوبة من الأخطاء المعمارية (١٥) .

وقد كانت أغلب المناقشات حول السطح الخارجى الذى يجب أن تظهر به الخرسانة . وتبعاً لراسكن فإنه من الخدع المعمارية معالجة مادة لتبدو كمادة أخرى ، وقد سبب هذا بلبلة أخرى لأن أحداً لم يكن يدرى الطريقة التى يجب أن تبدو بها الخرسانة . كما أن غالبية المعماريين كان ينظرون للخرسانة المكشوفة كسطح غير مقبول نتيجة للون الأسمنت وعدم انتظام الملمس . وهنا وجد المعماريون حلاً أخلاقياً مقنعاً فى بعض ماقاله راسكن عن معالجة الأسطح فى كتابه « المصابيح السبعة للعمارة » .

« ليس المفروض على المعمارى أن يستعرض المنشأ ، وليس علينا أن نلومه على حجبه أكثر من أسفنا أن التكسيات الخارجية للهيكل العظمى فى الإنسان تغطى كثيراً من أعضائه التشريحية — إلا أن المبنى سيكون نبيلا بقدر ما يكشف للعين الذكية الأسرار العظيمة لإنشائه » (١٦) .

ويمضى راسكن ليعرف الخداع المعمارى للسطح فيقول :

« خداع السطح يمكن تعريفه بأنه إعطاء الشعور بمادة أو شكل غير موجود فعلا كما هو الشأن فى دهان الخشب ليمثل رخاماً أو دهان الزخارف بشكل بارز إلخ . . . ويجب ملاحظة أن الخطأ فى مثل هذه الأسطح هو تعمد التزييف . وفى هذه الحالة يجب توضيح نقطة بداية ونهاية لهذا الخداع »(١٧) .

أى انه حسب أقوال راسكن ، ما دام المهندس لم يتعمد الخداع ، أو تغطية السطح بمادة تشبه مادة أخرى ، فإن الفضيلة لم تمس . وهكذا أعطى راسكن لمهندسى العصر الفكتورى فى إنجلترا التصريح بطريقة غير مباشرة ببناء الخرسانة فى داخل الحوائط وتغطيتها بأسطح أخرى ذات أشكال جميلة ، وغير مقلدة لأى مادة أخرى أو استعمالها كقالب لتكسيات ملونة . وبالتطور الذى حدث فى ذلك العصر فى صناعة زخارف التراكوتا والبلاط الملون ، وجد المعماريون فيها حلا مقبولا لتكسية الأسطح الخرسانية . كذلك فقد اتفقت

تغطية هذه الأسطح بقطع الموزايكو أو دهانها بالفرسكو مع تعاليم راسكن فى هذا الشأن ، مادامت مثل هذه التكسيات لاتحاول تقليد أى مادة أخرى . كما استعملت مادة التكسية كشدة دائمة فى بعض الحالات . والشدات فى هذه الحالة كانت من بلاطات وزخارف تراكوتا مثبتة فى مكانها بأسياخ حديدية ثم تصب الخرسانة فى الداخل . وقد كان هذا الاتجاه نحو استعمال التكسيات الموزايكو والتراكوتا سبباً مباشراً فى قلة الاهتمام بتحسين الخرسانة كسطح نهائى للمبنى .

وكما لكل فعل رد فعل فقد قامت اتجاهات أخرى مضادة تنادى بإمكانية تحسين الخرسانة واستعمالها لإنتاج أسطح ملائمة ذات قدرة على تحمل العوامل الجوية . وقد صاحب هذا الاتجاه تحسينات فى المواد وطريقة العمل من بينها دهان الشدة بالصابون لمنع التصاقها بالخرسانة ، واستعمال خرسانة منتقاة بجوار السطح الخارجى للشدة ، وتعمد الصراحة فى إظهار فواصل الشدات مع استغلال هذه الفواصل لتغيير اللون وتكوينات السطح الخرسانى . وكذلك استعمال ركام من أنواع خاصة كالجرانيت والكوارتز والرمل الملون . ورغم هذه التحسينات فقد ظلت الأغلبية من المعماريين والمقاولين على تخوفها من صحة هذا الاتجاه .

كل هذه المحاولات اهتمت بالسطح الخرسانى كطريقة للمعالجة المعمارية للمادة — أما بالنسبة للشكل المعمارى العام للإنشاء الخرسانى ، فقد جرت محاولات صادقة للثورة على اتجاهات الاقتباس وذلك فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر . هذه المحاولات صاحبت الآراء والأفكار التى قامت كرد فعل طبيعى لفترة الركود فى عملية الخلق المعمارى المبدع ، وقد جاءت جميعها نتيجة لدراسة صادقة للإمكانيات الإنشائية للخرسانة المسلحة ومدى صلاحيتها لاستيفاء الاحتياجات المعمارية للعصر .

فى هذا الوقت — فى نهاية القرن التاسع عشر وأوائل العشرين — اتجت مجهودات المعماريين الخلاقين من الرعيل الأول بكل حزم وقوة إلى محاولة للوصول إلى الحلول المعمارية السليمة التى توفر احتياجات العصر وتضمن حسن استخدام المواد وطرق الإنشاء التى وضعت تحت تصرفهم ومنها الحديد والصلب والخرسانة المسلحة ، وذلك بالتعمق فى دراسة طبيعتها الإنشائية والجمالية . من هؤلاء المعماريين ساليفان وفرانك لويد رايت فى أمريكا وماكنتوش (Mc-Intosh) فى إنجلترا وواجنر وأدولف لوس (Loos) فى النمسا وبرلاج (Berlage) فى هولندا ، وبيتربهرنز (Peter Behrens) فى ألمانيا ، وأناتول دى بودو (Anatole de Baudot) وبيريه (A. Perret) وجارنييه (Garnier) فى فرنسا . هؤلاء جميعاً قادوا اتجاهات لإعادة كسب الميدان المعمارى عن طريق إيجاد لغة جديدة لظروف متطورة .

فى هذه الظروف المواتية بلغت الخرسانة المسلحة مستوى مقبولا من التقدم التكنولوچى. وبانتشار استعمالها فى أنواع مختلفة من المبانى سارعت الهيئات الحكومية إلى إصدار القوانين المنظمة التى كان من أثرها الحد من خيال المعمارى من ناحية، والمساعدة على الاعتراف العام بها كمادة إنشائية من ناحية أخرى . ومن ثم فقد كانت الظروف مناسبة والحاجة ماسة إلى الوصول إلى التعبير المعمارى السليم بالخرسانة المسلحة بعيداً عن محاولات الاقتباس والمحاكاة . لقد كانت الأرض معدة لأول ضربة فأس. لم تظهر هذه فى المبانى العامة — مركز التقاليد المعمارية — بل فى المبانى الصناعية ، تماماً كما ظهرت أولى المحاولات بالحديد فى العمارة التجارية فى مبانى المعارض والمكاتب . مثل هذه المبانى أقل الوحدات المعمارية ارتباطاً بالطرز والتقاليد وأكثرها تأثراً باحتياجات المنفعة .

لقد توصل هنبيك بالخرسانة المسلحة فى المصانع المتعددة الأدوار التى أنشأها إلى تكوينات معمارية استغلت خواص المادة وطبيعة العمل المعمارى فسبق المعماريين فى هذا المجال . ففى الهيكل الخرسانى وجد هنبيك الحل السليم للإنشاء المضاد للحريق المطلوب لمبانى مصانع الغزل . مثل هذا الحل يوفر أكبر مسطحات من الزجاج وبالتالى يسمح لأكبر كمية من الضوء أن تنفذ لصالات المصنع ذى الأدوار المتعددة . ولما كانت العادة فى الإنشاء الحديدى الاحتفاظ بالحوائط السميكة ذات الفتحات الصغيرة، فقد وجد هنبيك أن الكمرات والأعمدة الخرسانية من المتانة بحيث يمكن الاستغناء عن الحوائط كلية واستعمال حوائط زجاجية شفافة . وبذا ظهرت فكرة الهيكل الخرسانى المكشوف المعبر عنه على الواجهة، وتكونت واجهات ذات نسب جديدة بالنسبة لأسماك الأعمدة وشكل الفتحات . وقد مرت فترة من الزمن قبل أن يرى المعماريون فى هذا التكوين تعبيراً معمارياً جديداً يمكن استعماله فى أنواع أخرى من المبانى، وبذا يصبح ظاهرة هامة من ظواهر العمارة المعاصرة .

وقد وصل هنبيك إلى هذه الحلول التاريخية فى مصنع الغزل الذى بناه عام ١٨٩٥ * فى شارلز سكس (Charles Six) فى توركوان (شكل ٤١) وفى مصنع غزل اخوان بارو (Barrois) فى فيف (Five) بجوار ليل (Lille) عام ١٨٩٦ . وفى المصنع الأول عبر هنبيك عن الإنشاء بكشفه على الواجهة الخالية من الزخارف ذات الخطوط الرأسية للأعمدة والأفقيات المرتدة للبلاطات والكمرات والأعمدة المتوسطة الرفيعة لتثبيت الشبابيك . وقد أنهى الواجهة بكورنيش بارز ذى كوابيل مزخرفة وسور خرسانى مخرم .

---

* هذه الحلول المعمارية بالهيكل الخرسانى المكشوف والزجاج عاصرت الاتجاهات المعمارية لمبانى المكاتب فى شيكاجو بالهيكل الحديدى المغلف والزجاج .

وفى مثل لاحق عبر الإطلنطي ، قام رانسوم بتنفيذ مصنع كيلى وجونز (Kelly & Jones) عام ١٩٠٢ فى مدينة جرينز برج (Greensburg) ببنسلفانيا على تنسيق عام مشابه ولكن أكثر بساطة وصراحة (شكل ٤٢). هذا التنسيق لا يمت بصلة للطرز السائدة وفيه تأكدت أفقيات البلاطات والكمرات خارج أعمدة مرتدة وانحصرت بين الاثنين فتحات زجاجية بجلسات مرتدة عن الإنشاء ، كما استعملت أعمدة رفيعة فى مستوى الشبابيك لتثبيتها .

وقد وصل هنبيك إلى تكوين آخر فى مصنع دقيق بناه - الطاحونة المثالية - (Le Moulin Ideal) فى مدينة نور (Nort-Loire-Inf.) سنة ١٨٩٨ . وهو مصنع متعدد الأدوار ، ولكن طبيعته تطلبت حوائط صماء بدلا من الزجاج . وقد كانت الطريقة المتبعة فى ذلك الوقت لبناء حوائط صماء بين هيكل خرسانى ، هى صب حائط مسلح بين الأعمدة والكمرات . وبدلا من ذلك استعمل هنبيك فى هذا المصنع أعمدة رفيعة سابقة الصب بين الهيكل الخرسانى . هذه الأعمدة أصبحت هياكل ، إما لنوافذ صغيرة بها أو لبانوهات سابقة الصنع من الطوب أو الخرسانة . هذا الإنشاء يمثل إدراكاً لمزايا الجمع بين الهياكل الخرسانية المستمرة وبين الأجزاء السابقة الصب . ومع مزايا هذا النظام فإن هنبيك لم يكرره فى أى من مبانيه اللاحقة .

ورغم أصالة هذه الاتجاهات فإن تأثيرها فى العمارة المعاصرة كان معدوماً تماماً ، حيث إنها اعتبرت فى هذا الوقت من مظاهر المبانى الانتفاعية ، وهذه كما هو الشأن فى ذلك الوقت لا تدخل ضمن نطاق الأعمال المعمارية .

ويبدو طبيعياً أن تكون فرنسا هى المسرح المتقدم للأحداث الحيوية المنتظرة . ففيها كان الصراع على أشده بين التقليديين والتحرريين . كما تمت فيها تجارب متتابعة على استخدام الحديد فى العمارة فى المجال التجارية والأسواق والمعارض الدولية ، هذا إلى جانب كونها أكثر البلاد معرفة بالمادة الجديدة ودراية بتطوراتها المتلاحقة ، كما أن فيها نشأت أكبر المكاتب المتخصصة فى تنفيذ هذا النوع الجديد من الإنشاء . ومن الطبيعي — والجو كله مهيأ معمارياً وإنشائياً — أن تتلاحق التطورات المعمارية الأصيلة الخلاقة من حيث الفكرة والتطبيق .

أناتول دى بودو

هو من أوائل المعماريين الفرنسيين الذين حققوا تشكيلا معمارياً خاصة بالخرسانة المسلحة بعد تجارب سابقة بالحديد والحجارة ، وقد أتيحت له الفرصة لتطبيقها فى كنيسة جان دى مونمارتر (Jean de

(Montmartre) الذى صممها سنة ١٨٩٤ وابتدأ تنفيذها فى باريس سنة ١٨٩٧ وأنهاها سنة ١٩٠٥ (شكل ٤٣). وتعتبر الكنيسة من الأعمال الأولى التى قام بها معمارى وتأثر فيها بخصائص الخرسانة المسلحة[١٨]. ويبدو من المهندسين الذين تأثروا بآراء فيوليت لى دوك إلى حد بعيد، سواء فى إيمانه بمزايا العمارة القوطية، أو فى إيمانه بضرورة اكتشاف إمكانيات المواد والطرق الإنشائية الجديدة. وكمفتش للآثار القديمة، وكأحد المعماريين ذوى المكانة فى ذلك العصر، كانت آراؤه وتصميماته ذات تأثير كبير فى معاصريه من المهندسين الشبان.

وقد استعمل بودو فى هذه الكنيسة طريقة كوتانسين (Gottancin) وفيها يكوّن الطوب المجوف المسلح بقضبان حديد وحدات الضغط، والأسمنت المسلح بقضبان من الحديد مدفونة فى خايط من الرمل والأسمنت بدون ركام حجرى وحدات الشد. وهذه الطريقة، ولو أنه استعملها بمهارة — إلا أنها جعلت تكويناته ذات نفع قليل لحركة البحث عن أشكال وأسطح مناسبة للخرسانة المسلحة. فالحوائط المسلحة كانت رفيعة للغاية، إلا أنها ظهرت من الخارج كالحوائط الطوب العادية. أما الأسقف فكانت من عقود ذات أعصاب من أسمنت مسلح بينها فراغات مملوءة ببانوهات سمكها بضعة سنتيمترات، وهذه لم تظهر للمشاهد من الداخل. ومما قلل من تأثير هذه الكنيسة على مجرى التطور المعمارى أن مسقطها كان تقليديًّا (شكل ٤٤)، كما أن عقود الأسقف كانت متأثرة بالعقود القوطية (شكل ٤٥). ومع هذا فإن هذا العمل المعمارى لايخلو من استعمال المادة بطريقة جديدة وبتعبير معمارى مستحدث، نراه واضحاً فى رشاقة الأعمدة واستمرارها لتكون أعصاباً رفيعة معقودة تحمل بينها بلاطات خرسانية أو ألواحاً زجاجية. كما ظهرت نسب جديدة فى العقود الحرة الحاملة لسقف الطرقات الجانبية وعلى جوانب البهو الأوسط بعدت بها عن المبانى الحجرية التقليدية رغم صلتها من ناحية الشكل العام بالطراز القوطى. كما ظهرت إمكانيات الصب بالخرسانة فى الأشكال الحرة الزخرفية للدراوى الداخلية* التى تردد أشكال عقود الأسقف. هذه الدراوى كسيت ببلاطات صغيرة من السيراميك وضعت على الطريقة البيزنطية. وقد اعتبر بيدو السيراميك كسوة طبيعية للواحدات الأسمنتية ومكمل زخرفى لها.

العمارة العضوية والفن الجديد

فى مرحلة البحث عن اللغة المعمارية للخرسانة المسلحة، وخاصة بالنسبة للمبانى السكنية المتعددة الأدوار اتجه بعض المعماريين إلى استغلال طبيعتها كمادة بلاستيكية وذلك بتنفيذ اتجاه جديد نشأ كثورة

---

* ظهرت هذه الدراوى الزخرفية فى منزل وارد قبل هذا الاستعمال بعشرين عاماً.

على طراز الاقتباس ، وهو اتجاه الفن الجديد (Art Nouveau). هذا الطراز ظهر فى أواخر القرن التاسع عشر كنتيجة شكلية لمبادئ المدرسة العضوية (Organic School) التى نادى بها المهندس المعمارى الألمانى رايل (M.H. Riehl.) سنة ١٨٥٣ . وقد قامت المدرسة العضوية محتجة على تصميم المبانى مرتبطة بالسيمترية الميكانيكية بدلا من تصميمها من الداخل إلى الخارج بناء على الاحتياجات الحقيقية للحياة . وقد سماها سيزار دالى سنة ١٨٦٣ بتسميتها قائلا :

« لقد سميناها عضوية لأننا نراها بالنسبة للمدارس التاريخية والتقليدية كما نرى الحياة المنظمة (Organized) للحيوانات والنباتات بالنسبة إلى الوجود غير المنظم للصخور المكونة لباطن هذه الأرض . كما أنها يجب أن تنمو وتتطور على نمط الكائنات الحية ، لا أن تتكون كالمعادن بإضافة عناصر الواحدة بجانب الأخرى »[١٩] .

وكامتداد شكلى لهذا الاتجاه العضوى أوصى دالى أن تكون وحدات الزخرفة منبعثة من الأزهار الطبيعية وليست من مبانى العالم القديم .

وقد وجد معماريو هذه المدرسة أنفسهم فى حاجة إلى مادة بلاستيكية تشبع فيهم الرغبة فى الانتقال من الخطوط المستقيمة الميكانكية إلى الخطوط المنحنية الطبيعية . وقد كان تنفيذها فى الأحجار صعباً باهظ التكاليف لما يتطلبه من كتل ضخمة من الأحجار تقطع أجزاء كبيرة منها بعد ذلك . وقد كان الحل الواضح هو الوصول إلى مادة بلاستيكية يسهل تشكيلها وصبها . وقد كان الحديد الإنشائى والزخرفى مجالا لتحقيق هذه التشكيلات ، كما اتجهت أنظارهم إلى الخرسانة كمادة تقبل مختلف المعالجات . وقد تم تنفيذ أحد مبانى هذا الطراز بالخرسانة وهو مبنى العمارة السكنية للسادة فيلكس پوتان (Felix Potin) بشارع رين (Rennes) بباريس سنة ١٩٠٤ (شكل ٤٦) . وهنا ظهرت صعوبة استعمال الخرسانة فى هذا الاتجاه لما تتطلبه من قوالب معقدة بالحجم الطبيعى للبروزات المزخرفة والمنحنيات الدقيقة .

وقد ظهرت طريقة أسهل لتنفيذ الطراز الجديد ، وذلك بعد التطور الذى أحدثه بيجو (Bigot) فى طريقة تزجيج بلوكات و بلاطات الطين الحرارى . وقد استعملها المهندس الفرنسى لاڤيروت (Lavirotte) فى بناء عمارة بشارع راپ (Rapp) رقم ٢٢٩ بباريس عام ١٩٠١ ، مستعملا البلوكات المزججة المسلحة على طريقة كوتانسين (شكل ٤٧). وقد تمكن المهندس لاڤيروت بهذه الطريقة من تجنب الواجهات

الطوب التي استعملها بيدو ، ولكنه أنتج واجهة مملوءة بالبروزات المنحنية المحملة على وحدات نباتية ضخمة المقياس .

ومع أن حركة الفن الجديد ابتدأت على مبادئ سليمة ثابتة من العمارة العضوية إلا أنها أخذت مظاهر زخرفية صعبة التنفيذ بالحديد أو الخرسانة . هذه الصعوبة العملية كانت سبباً فى سرعة اضمحلالها واختفائها من مجال التطور المعمارى فى أوائل القرن العشرين .

أوجست بيريه

يعتبر المهندس المعمارى أوجست بيريه من أوائل المعماريين ذوى المكانة المرموقة الذين عاشوا مع الخرسانة المسلحة طوال حياتهم العملية ، وصاغوا لها لغة معمارية مستقلة من كل الوجوه .

وقد توصل إلى آراء قوية واضحة لطريقة استعمالها تمسك بها فى أعماله . ولذا فكثيراً ما ينسب إليه أنه أبو عمارة الخرسانة المسلحة . وقد لخص بيريه نظريته فى مقالة نشرت عام ١٩٣٦ فى مجلة (Arkitektura S.S.S.R.)[٢٠] وفيها اعتبر المادة كتلة مستمرة تتطلب شداداتها الخشبية التصميم على أساس وحدات إنشائية مستقيمة الأضلاع وقوتها تبلغ الحد الذى يجعلها لاتحتاج إلا لأعمدة رفيعة يرتكز عليها الهيكل بأكمله وتمتد القواطيع بينها .

وقد تأثر بيريه بآراء ڤيوليت لى دوك فى كتاب الأخير :

(Dictionnaire Raisonne de L'architecture Francaise du XI au XVI Siecle)

وقد قرأه بيريه فى سن العاشرة وثبت تأثره به طول حياته الفنية . وقد اعترف بيريه بأن ڤيوليت لى دوك هو معلمه الحقيقى ، وأنه هو الذى حماه من تأثير مدرسة الفنون الجميلة العليا بباريس . وقد كان تأثير ڤيوليت لى دوك على بيريه فى أفكاره التى رددها دائماً عن الوقار الإنشائى وفى تأكيده المستمر بأن العمارة لن تصل إلى التكوينات الجديدة الأصيلة ، إلا إذا كانت هذه منبعثة من الاستعمال السليم لطرق الإنشاء الحديث ، وفى اتهامه المباشر لأتباع راسكن الذين يلبسون المواد الإنشائية كساء من البياض أو الطوب . وقد وجد ڤيوليت لى دوك هذه المبادئ السليمة مطبقة وواضحة فى عمارة العصور الوسطى حيث اندمج الإنشاء والعمارة وتكونت كل وحدة معمارية نتيجة لحاجة إنشائية ، وحيث لايمكن إضافة أو حذف أى شكل زخرفى فيها دون المساس بمتانة وصلابة المبنى . ومن الطبيعى تصور تأثير مثل هذه الأفكار والآراء فى مهندس ناشئ كأوجست بيريه منذ دخوله كطالب فى مدرسة الفنون الجميلة بباريس إلى خروجه منها بدون أن يتقدم بمشروع للدبلوم رغم انتهائه من استيفاء جميع الطلبات السابقة لذلك . وقد تتلمذ فيها على يد البروفسير جوديه (Gaudet) وإليه يرجع

الفضل فيما وصل إليه بيريه فى التصميم والتكوين والوعى الكامل للنسب والمقاييس الكلاسيكية وطريقته فى تحليل العناصر المعمارية وثقافته المعمارية ، رغم إصرار بيريه المستمر على نفى أى تأثير لمدرسة الفنون الجميلة عليه .

وقد ابتدأ أوجست بيريه حياته العملية سنة ١٨٩٥ ببناء عدة مبان حجرية ، إلى أن شرع سنة ١٩٠٢ فى بناء عمارته الشهيرة رقم ٢٥ ب شارع فرانكلين بباريس ، والتى اتحدث آراء المؤرخين على اعتبارها أول عمل استعملت فيه الخرسانة المسلحة كعنصر للتعبير المعمارى المقصود (شكل ٤٨) . وفيها يتكون كل دور من شقة من ست غرف وحمام وسلم رئيسى وسلم خدم ومصعد . والحجرات ملتفة حول غرفة الصالون فى الوسط ومضاءة من منور مكشوف على الواجهة الضيقة (١٦ متراً) . والجديد فى إنشاء هذه العمارة اختفاء الحوائط الداخلية الحاملة التى حلت محلها أعمدة رشيقة بينها حواجز ثابتة أو متحركة . وقد هيأ هذا المسقط المفتوح الامتداد بين الحجرات ، وأصبح ذلك حدثاً هاماً فى المبانى السكنية وتطوراً هائلاً فى تكوين الفراغات السكنية الداخلية . وتعتبر واجهة هذه العمارة تطوراً هائلاً بعيداً عن واجهات الفن الجديد المعاصرة وعن واجهات لويس الخامس عشر السائدة فى باريس فى ذلك الوقت .فالعمارة تتميز ببساطتها وباختفاء المنحنيات كلية واستعمالها الأسطح المستوية المتعامدة (شكلى ٤٦ ، ٤٧) . وقد استعمل بيريه لتكسية خرسانة الواجهة ، وهى التى قام بتنفيذها مقاول آخر من الباطن ، بلاطات السيراميك على الطريقة التى اكتشفها الكيماوى ألكسندر بيجو لعدم ثقته فى ذلك الوقت بجودة السطح الخرسانى المكشوف (شكل ٤٩) . وقد استغل بيريه هذه التكسيات السيراميك كوسيلة للتعبير عن عناصر الواجهة المختلفة . فالوحدات الحاملة كساها ببلاطات مسطحة بسيطة ، أما الحوائط غير الحاملة فقد دفن فيها بدون انتظام بلاطات من ثلاثة أو أربعة أشكال لأوراق جوز الهند . وبهذه الطريقة ظهر الهيكل الإنشائى واضحاً قوياً على الواجهة بجانب المظهر غير الإنشائى للحوائط غير الحاملة ، كل ذلك فى تكوينات فى حدود لون واحد (Monochrome) . هذا الاستعمال يعطينا مثلاً قائماً لتبعية الوحدات الزخرفية للإنشاء ومدى ترابط وتكامل العنصرين معاً .

وفى عام ١٩٠٥ استعمل أوجست بيريه الهيكل الخرسانى المكشوف فى جراج سيارات رقم ٥٠ شارع پونثيو (Ponthieu) فى حى راق بباريس (شكل ٥٠) . ويعد هذا المبنى عملا فنياً رائعاً حتى بمقاييس وقتنا الحالى ، وفيه تتجسم بجرأة منافية للذوق السائد فى ذلك العصر تكوينات رائعة بسيطة للغاية بهيكل خرسانى مكشوف بينه ألواح زجاجية غير حاملة . ومن السهل أن نقارن هذا المبنى بما سبقه على نفس الخطوط الإنشائية من مبانى هنبيك الصناعية لنرى تأثير المعمارى فى تطوير التكوين الإنشائى

ليصبح عملا فنيًّا متكاملا . نرى الفارق فى الاتساع المتعمد للباكية الوسطى التى تحوى المدخل ، والبروز المؤكد للأعمدة المحيطة بهذه الباكية ، والمعالجة الزخرفية بالبانوه الزجاجى الأوسط ، والإيقاع السريع المنتظم بالدور الأخير داخل التكوين الإنشائى العام . وبهذا العمل المعمارى فى بداية القرن العشرين وصل بيريه بالهيكل الخرسانى إلى ذروة التعبير المعمارى .

ومع ذلك فقد أصيب هذا التقدم فى معالجة السطح والتشكيل المعمارى بنكسة عندما نفذ الأخوان بيريه سنة ١٩١١ ، بتصرف كبير كمقاولين ، رسومات المهندس الفرنسى روجيه بوڤار (Roger Bouvard) لمسرح الشانزلزيه ، والذى قام المهندس البلجيكى ڤان دى ڤلد بعمل رسومات خاصة لواجهاته وتصميمه الداخلى . وقد هاجم أوجست بيريه التصميمات الخارجية والداخلية لأنها غير مطابقة للإنشاء ، وكذلك هاجم طريقة الإنشاء لأنها غير عملية ، وبذا خلا الميدان له للتصرف فى التصميمين الخارجى والداخلى ، وكان أول تغيير أدخله هو الاستغناء عن تكسية الإنشاء بالمبانى الحجرية . كما غير الإنشاء كلية من ثمانية أعمدة على مسقط بيضاوى للمسرح الكبير إلى أربع مجموعات من عمودين على أركان لبشه مسلحة مربعة للأساسات . وبذا أصبح مسقط المسرح الكبير دائريًّا بدلا من بيضاوى . ومن الامتداد المركزى للشبكة المكونة من أربع مجموعات من الأعمدة المزدوجة كون الهيكل الإنشائى لبقية المبنى بما فيه الواجهة ومن التجديدات الإنشائية التى استعملها عقدين ببحر ٢٤ متراً فوق المسرح الكبير ، ومنهما علقت غرفة بروفات فوق القبة الداخلية لصالة المسرح .

ومن الأسس التى احترمها بيريه فى هذا المبنى مراعاة أن تكون الزخارف منبعثة تماماً من الإنشاء . فقد تركت الكمرات والأعمدة مكشوفة فى الدواخل بدون أى تغطيات ، أو تغليفات أو إضافات . وأصبحت هى فى ذاتها وحدات الدواخل الرئيسية ، مكونة لبانوهات فى السقف ، مكملة لأعمدة دائرية أو مربعة بدون رءوس أو قواعد بحيث ظهرت الدواخل قاسية عارية بالنسبة لنقاد عصره ، وخالية من أى نحت حر ، اللهم إلا فى بانوهات محدودة فى الداخل وعلى الواجهة الرئيسية . وقد كان هذا تطبيقاً لإيمان بيريه الكلاسيكى بأن النحت يجب أن يكون تابعاً للعمارة . وقد ظهر هذا التطبيق فى واجهة المسرح حيث وضعت بانوهات منحوته بين الأعمدة الإنشائية . ورغم التطور الكبير الذى أدخله بيريه فى الإنشاء والتصميم الداخلى ، إلا أنه رجع بالواجهة إلى تكوينات كلاسيكية معروفة مرتبطة إلى حد ما بما اقترحه هنرى ڤان دى ڤلد المصمم الأصلى للواجهة (شكل ٥١) . وقد استعمل جانبين مسدودين وقسم ما بينهما إلى ثلاث باكيات بها فتحات مستطيلة رأسية محاطة ببانوهات وتكسيرات

متلاحقة، ويعلو الفتحات بانوهات صغيرة صماء، ويعلو الثلاث باكيات ثلاثة بانوهات زخرفية بارزة، كما ختم المجموعة بكورنيش بارز . والواجهة جميعها مكسوة بالرخام الرمادى اللون . ومن الواضح أن بيريه حاول عامداً أو مرغماً الوصول إلى طابع ووقار المبانى العامة ، ومع ذلك فلم ينجح فى إرضاء معاصريه ونقاده العديدين ، كما أنه لم ينجح فى التعبير عن طبيعة الإنشاء الخرسانى .

من المهم هنا أن نلاحظ التطور الذى أحدثه بيريه فى المعالجة الشكلية للعناصر المعمارية . وإذا ابتدأنا بالأعمدة نجد أنه كان مولعاً بالأعمدة الحرة، لأنه اعتبرها رمزاً للعمارة فى جميع العصور . فالأعمدة تعبر أكثر من غيرها عن عظمة العمل المعمارى فى مقاومة الجاذبية الأرضية، وعن الصراع بين الرغبة والعزيمة *. هذا بجانب التأثير النفسى القوى الذى يحدثه الإيقاع المتناقص لصفوف الأعمدة المتتابعة والتأثير البصرى الذى يسببه ذلك الإيقاع بالنسبة للإدراك الصحيح للمقياس الداخلى وفى خلق توقعات لعناصر مهمة فى المسقط . وكمهندس فخور بمادته، وكمقاول ذى حساسية لطرق الصناعة ، وصل بيريه لطريقته الخاصة لمعالجة الأعمدة الخرسانية كنتيجة لطرق الصب وليس لطبيعة المادة ذاتها كمادة متماسكة مستمرة . وقد أصبح واضحاً أمام بيريه أنه بالرغم من استمرار الأعمدة الخرسانية من الناحية الحسابية النظرية فإن إنشاءها ليس فى الحقيقة مستمراً ، وقد كان من نتيجة ذلك أن أعمدة بيريه منتهية معمارياً عند السقف، على اعتبار أن أعمدة كل دور تصب لكل سقف على حدة . وكما هو التصميم فى مسرح الشانزليزيه، فقد استعمل بيريه أعمدة منتهية إلى سقف مكون من شبكة مستمرة من الكمرات ، أى إن الاستمرار هنا أفقى ومرئى . كما استغنى بيريه عن المشاطيف (Haunches) التى كانت من مظاهر الإنشاء الخرسانى حتى ذلك الحين ، وذلك لأن الشدة الخشبية الأفقية أسهل فى الصناعة . أما من حيث معالجة سطح الأعمدة فقد غطاها بيريه فى المسرح بالرخام أو البياض . وقد أتيحت له فرصة لتطوير ذلك فى مبنى دينى هام وهو كنيسة نوتردام دى رانسى (Notre Dame du Raincy) بباريس سنة ١٩٢٢ (شكل ٥٢). وقد كانت النتيجة مبنى من أكثر المبانى تطوراً فى الربع الأول من القرن العشرين . وقد ابتعد بيريه فى هذا المبنى تماماً عن تقاليد العمارة الكنائسية . وفيه استعمل أربعة صفوف من أعمدة دائرية يتناقص قطرها من ١٧ بوصة فى القاعدة إلى ١٤ بوصة فى أعلاها على ارتفاع ٣٧ قدماً — وقد اختارها دائرية لأنها أكثر كفاءة إنشائياً ، ولتساوى قوتها فى جميع الزوايا ، ولجمالها نتيجة لتدرج الظلال ، ولعدم اختلاف عرضها مع اختلاف زوايا المنظور . وقد تركت

---

* كما قرر ذلك شوبنهاور فى تفسيره لسر جمال الإنشاء المعمارى .

هذه الأعمدة مكشوفة ، ولتلافى ظهور أى عيب فى خرسانتها استعمل بيريه فى شدتها مجموعة من القنوات (Flutes) ، وهذه لم تكن منحنيات دائرية منتظمة كما فى الأعمدة الكلاسيكية ، ولكن مجموعة من البروزات الدائرية والزوايا وهى أكثر قرباً للأعمدة القوطية المركبة . وقد كونت هذه الأعمدة صالة وسطى بحرها ٣٣ قدماً وأجنحة بنصف هذا العرض . وهى تحمل سقفاً مزدوجاً ، الداخلى منه عبارة عن قشرة سمكها أقل من ٢ بوصة على شكل قبو بطول الصالة الوسطى ، أما الجناحان فتغطيهما داخلياً مجموعة من القبوات المتعامدة . أما السقف الخارجى فهو على شكل مزدوج الانحناء مكون من بلاطات مقوسة على كمرات دائرية متعامدة على المحور الرئيسى للمبنى .

وقد استعمل بيريه القشرات الخرسانية (Thin Shells) فى مرحلة مبكرة من تطورها فى مجموعة من مبانى المنافع العامة كمبانى أرصفة ميناء الدار البيضاء سنة ١٩١٦ ، وفى مصنع الملابس إسدير (Esders) سنة ١٩١٩ (شكل ٥٣) ، ثم فى ستوديوهات ديكورات المسارح بشارع أوليڤييه — مترا (Olivier-Metra) بباريس سنة ١٩٢٣ (شكل ٥٤) . والعقود والقبو القشرى المستعملة فى كل على التوالى لم تكن على هيئة قطاع ناقص بل دائرية ، وتتراوح سمك الخرسانة فى أعلى نقطة فيها بين ٢ ، ٣ بوصات .

ومن الملاحظ فى كنيسة نوتردام دى رانسى أن بيريه فصل الأعمدة الخارجية عن الحوائط ، وبذا أمكنه أن يستعملها دائرية كالأعمدة الداخلية ، وبذا أضاف لصفين من الأعمدة الداخلية صفين آخرين مما أضاف اتساعاً للكنيسة . ووراء الأعمدة الخارجية تمر الحوائط الخارجية حرة مستمرة . وهنا أدخل بيريه تطوراً أثار اهتماماً كبيراً فى ذلك الحين ، وهو استعمال حوائط التشابيك (Claustra) وهى مكونة من بانوهات مفتوحة سابقة الصب مربعة طول ضلعها قدمان ، كل منها يحوى فتحات مستطيلة أو مثلثة أو دائرية مغطاة بالزجاج الملون . والتأثير العام لهذا التكوين رائع للغاية لأن مجموعة الألوان تكون تدرجاً مرتباً حسب التسلسل الطبيعى للألوان من الأصفر المنير عند المدخل إلى الأزرق القاتم عند الطرف الشرقى ، ومن الخارج أصبح الحائط عبارة عن مجموعة تكوينات هندسية ، وقد حصرها بيريه فى خمسة أشكال — صليب داخل مربع — دائرة داخل مربع — معين داخل مربع ونصف مربع وربع مربع . وبترتيب هذه الأشكال متكررة فى كل باكية عبر بيريه عن انتظام الإنشاء بدون حاجة لوجود الأعمدة بارزة على خارج المبنى . وقد استعمل بيريه نفس تكوينات التشابيك فى الداخل فى أسوار السلالم والسور الحاجز لمنطقة المذبح وفى فتحات البرج المرتفع (٢٢٠ قدماً) . ويقع هذا البرج على الجانب الغربى للمبنى ، وتكونه أربع مجموعات من أربعة أعمدة من نفس مقاسات

بأشكال الأعمدة الداخلية . وقد أصبحت هذه التشابيك من خصائص عمارة أوجست بيريه الظاهرة ، وقد كرر بيريه نفس العناصر التى ظهرت فى كنيسة نوتردام دى رانسى أو مشتقاتها فى كنائس أخرى مماثلة ، منها كنيسة سانت تيريز (St. therese) فى مونتمانى (Montmagny) سنة ١٩٢٥ (شكل ٤٨٩) ومشروعه لكنيسة فى كارمو (Carmaux) سنة ١٩٣٨ . وقد اتجه فى تصميماته اللاحقة إلى زيادة مسطحات الأجزاء الصماء على حساب مسطحات التشابيك نتيجة لملله منها بعد أن أصبحت شائعة ، ورغبة منه فى توحيد العناصر المستعملة فى الأنواع المختلفة من المبانى . ويظهر ذلك فى آخر وأكبر كنيسة له سانت جوزيف (St. Joseph) فى الهافر سنة ١٩٥٣ ، وفيها استعمل أشرطة رأسية من التشابيك بين حوائط خرسانية صماء *.

وقد طور بيريه نظرته للأعمدة التى رأيناه يستعملها فى كنيسة رانسى على النمط الكلاسيكى بقطر يتناقص كلما بعد عن القاعدة ، وذلك بالتساؤل عن حكمة ذلك بالنسبة لمادة بلاستيكية كالخرسانة المسلحة . ففى حين كان هذا الاستعمال منطقياً بالنسبة للأعمدة الحجرية إلا أنه غير منطقى بالنسبة للأعمدة الخرسانية التى تكون كتلة متصلة مع السقف ، ويمكن أن تكون حرة فى القاعدة . مثل ذلك لا يوجد فى الإنشاء الحجرى بل فى الهياكل الخشبية كالطاولات التى تتناقص أرجلها إلى أسفل وذلك لاحتياجها لكتلة أكبر عند تلاقيها مع السطح الأفقى ** ، وهو تشابه سليم إذا لم يكن العمود جزءاً من هيكل متعدد الطبقات كما فى أعمدة صالات الدور الواحد . وقد استعمل بيريه مثل هذه الأعمدة فى متحف الأشغال العامة بباريس سنة ١٩٣٨ ، وفيه يرتكز السقف العلوى على أعمدة دائرية خارجية مستقلا عن الإنشاء الداخلى للأسقف الداخلية (شكل ٥٥) . والأعمدة الخارجية ذات قطر ٩٠ سم عند القاعدة و ١,١٢م عند نهاية ارتفاعها (١٣,٥ متر) . ويتفق هذا الشكل مع كميات الحديد المستعملة فى العمود وهى تبلغ فى السدس الأعلى من العمود ستة أضعاف ما فى أسفله . وقد أصبح هذا الشكل مقبولا للأعمدة الخرسانية فيما بعد وخاصة للصالات العامة ذات الطابق الواحد . وقد شكل بيريه أعمدته الدائرية على شكل متعدد الأضلاع وذلك لتسهيل عمل الشدة الخشبية . ولتلافى عيوب الخرسانة ، ولصعوبة عمل القنوات فى الشدة الخشبية ، استعاض بيريه عنها بإزالة الغطاء الأسمنتى من وسط كل ضلع تاركاً

---

* فى هذه الكنيسة استعمل بيريه برجاً عالياً أوسط مزججاً بتشابيك ، وذلك لاستغلال التأثير الدراماتيكى للإنشاء العالى والإضاءة العلوية . وقد استعمل نفس التكوين قبل ذلك فى مشروعه لمسابقة كنيسة القديسة جان دارك سنة ١٩٢٦ .

** استعملت أمثلة من هذه الأعمدة فى مسينا Mycaenea فى بوابة الأسود وهى مستوحاة من الإنشاء الخشبى .

الأركان على حالها ، وبهذا تكونت سلسلة مجار بسيطة فى العمود ناتجة عن طبيعة عملية صب الخرسانة ذاتها . أما طريقة معالجة نهايات هذه الأعمدة فقد وجد بيريه أنه لاداعى لوجود قاعدة ، وبالنسبة لرأس العمود كان من الضرورى عمل اتصال انسيابى بين العمود والكمرات فوقه لسهولة اتصال التسليح بينهما . ومع أن بيريه أهمل هذا الاتصال فى أعمدة مسرح الشانزليزيه وفى كنيسة نوتردام دى رانسى إلا أنه واصل البحث عن حل لهذا الاتصال حتى نفذه فى الأعمدة الخارجية لمتحف الأشغال العامة . وفيها تحولت الأعمدة من دوائر إلى مربعات أوسع عند اتصالها بالكمرات ، وذلك عن طريق سلسلة بروزات صغيرة على شكل أوراق الشجر أو صدفات البحر (شكل ٥٦) .

أما بالنسبة للكمرات فقد قرر بيريه من وقت مبكر فى حياته ، كما رأينا فى عمارته بشارع فرانكلين ، أنه من الواجب إظهارها وتوضيحها داخلياً وخارجياً ، وذلك للتعبير عن الإنشاء عامة ، وعن الخرسانة المسلحة بصفة خاصة . ومن ثم فقد أصبح الطابع المميز لتصميماته إظهار الكمرات والأعمدة الحاملة لها مكشوفة على واجهات مبانيه ، وقد اختار أن تكون كمراته بارتفاعات ثابتة على الواجهة لتسهيل عمل الشدات ولتوحيد خطوط الواجهات . وفى الدواخل استعمل بيريه تجارب الإغريق فى تحسيناتهم البصرية ، فقسم جوانب الكمرات إلى جزأين أفقيين لتلافى ضخامتها ، كما أعطى الكمرات انحناءً بسيطاً إلى أعلى لتلافى الخداع البصرى بالهبوط الذى يصاحب الكمرات الأفقية تماماً . أما بالنسبة لتلاقى الأعمدة بالكمرات فلم يقبل بيريه الحل الهندسى السائد فى ذلك الوقت ، وهو أن يستمر العمود إلى السقف بعد تقابله مع الكمرة التى تقل عنه فى السمك ، لأن ذلك يترك أجزاء بارزة من العمود غير منسقة أو محدودة . وقد اتجه بيريه إلى عمل كمرات أعرض قليلا من الأعمدة الحاملة لها بتكوين يعبر عن طبيعة عملية الصب ، حيث إن الأعمدة تصب لكل دور على حدة ، أما السقف فيصب مستمراً . وفى حالة كبر هذه الأعمدة مما يترتب عنه كمرات عريضة كان تصميمه يتجه إلى عمل تجويف أسطوانى فى بطنية الكمرة لتلافى مظهرها الضخم .

وقد كان اتجاه بيريه نحو الهيكل الإنشائى المستقيم الأضلاع . وهو يختار المسافة بين الأعمدة التى تناسب الوحدات المختلفة الداخلة فى البرنامج ، ويثبتها لكل المشروع حتى يصل إلى الوحدة المطلوبة لعناصر المبنى . وما إن يستقر على الهيكل الإنشائى حتى يلتفت إلى تكوين الحوائط ، وهذه ملأها بزجاج من العمود إلى العمود كلما كان ذلك مرغوباً فيه كما فى ستوديو بيريه الخصوصى بعمارته بشارع فرانكلين وفى الجراج بشارع بونثيو أو فى مصنع ملابس إسدير وفى ستوديوهات ديكورات

المسارح بشارع أوليڤيه — مترا بباريس . أما فى مبانيه العامة فكان يفضل استعمال الفتحات مع الأكتاف بإيقاع منتظم . وبالنسبة للحوائط الخرسانية فقد كان المتبع فيها عندما بدأ بيريه عمله أحد حلين : الأول وهو صب حائط خرسانى بين الأعمدة مع ترك الفتحات اللازمة ، والثانى هو بناء الحوائط بالطوب مع مراعاة ترك الفتحات ، وكلا الطريقين له مميزاته وعيوبه . وقد حاول بيريه أن يكون الحشو من نفس طبيعة وملمس الهيكل مع تفادى ضخامة الحائط الخرسانى المصبوب على الموقع . وقد وصل إلى صنع طوب خرسانى خاص بمقاسات خاصة تناسب الفتحات . وقد طور بيريه هذه الطريقة عام ١٩٢٩ فى بنائه عمارته بشارع رينوارد (Raynouard) (شكل ٥٧) ؛ وذلك باستعمال بانوهات خرسانية رقيقة سابقة الصب على الموقع ، ومرتبطة بعضها ببعض بأسياخ رأسية وأفقية مدفونة فى مجار بأحرف البانوهات ومربوطة بالأعمدة . ثم استعمل فى متحف الأثاث القومى (Mobilier National) عام ١٩٣٥ (شكل ٥٨) أعمدة خرسانية ثانوية بين الهيكل الرئيسى ثبت بينها البلاطات السابقة الصب دون الحاجة إلى ربطها بالأسياخ الحديدية . وباستعمال نفس الأعمدة الثانوية حول الفتحات بنفس المسافات توصل بيريه إلى توحيد الإيقاع فى جميع الباكيات ، وإلى الاقتصاد فى التكاليف نتيجة لتوحيد مسطحات البانوهات .

وقد اهتم بيريه بالسطح الخرسانى منذ عام ١٩٢٠ حين ابتدأ فى استعمال طريقة الطرق (Bush-hammering) مع أنها استعملت من مدة طويلة فى أمريكا . وربما يرجع ذلك إلى أنه فى ذلك الوقت أصبح استعمال المهزات (Vibrating machinery) كفيلا بالوصول لخرسانة متماسكة . وما إن ابتدأ بيريه فى ذلك حتى اتجه إلى تحسين الأسطح ، وذلك بالاعتناء الشديد بالملمس واللون . ومن بين أنواع الركام التى استعملها كسر أحجار حمراء ، وهذه تكون مع الأسمنت الأبيض أسطحاً وردية مركبة متغيرة فى الشدة حسب حجم الركام المستعمل . وقد راعى بيريه دائماً تجنب استعمال البياض كلية حتى إنه كان يفخر دائماً بأن متحف الأشغال العامة لايحوى سنتيمتراً مربعاً واحداً من البياض الداخلى أو الخارجى . وقد كانت أسطحه دائماً من الخرسانة والخشب والمعادن والزجاج والطوب . وقد أصبح من معتقداته التى احترمها دائماً أن المواد الإنشائية يجب أن تعرض أسطحها الطبيعية حيث إن الإنشاء هو زخرفة العمل المعمارى الخالد .

توني جارنييه

من الجيل الأول للمعماريين الفرنسيين ومن معاصرى بيريه المهندس توني جارنييه وهو يمتاز بمشروعاته

ورسوماته ولو أن أعماله بالخرسانة المسلحة قد اتخذت اتجاهاً مخالفاً لاتجاه بيريه . فبينما نظر إليها بيريه كمادة قوية تتحمل التشكيل فى وحدات خطية رشيقة ومسطحات فعالة رقيقة، عالجها جارنييه فى أعماله على أنها مادة ثقيلة متماسكة تتشكل فى وحدات ضخمة أقرب ما تكون إلى الخرسانة الرومانية . ونتيجة لهذا اتخذت خرسانات جارنييه أشكالا ضخمة ذات نسب حجرية .

التأثير الأكبر الذى أحدثه جارنييه فى التطور المعمارى عامة وفى عمارة الخرسانة المسلحة خاصة فى أوائل القرن العشرين لم يكن فى أعماله المنفذة ، بل فى مشروعه الخيالى الذى قام به فى شبابه فى أواخر القرن التاسع عشر (المدينة الصناعية Cité industrielle)[٢١] . مثل هذه المشروعات الخيالية لمدن المستقبل كانت فرصاً للمعماريين الشبان للتعبير عن آرائهم الانتفاعية والاجتماعية والجمالية متحررين من المشاكل الواقعية من ناحية الإمكانيات المادية والذوق السائد . وقد طالعنا التاريخ القريب بمشروعات لمهندسين فرنسيين فى أواخر القرن الثامن عشر مثل مشروع لودوه (Ledoux) للمدينة المثالية الذى أصبح منبعاً للنماذج لمعمارى الرومانتكية الكلاسيكية، وكذلك مشروعات بوليه الفراغية فى نفس الفترة لمبان خيالية بمادة لم يحددها ونسب وأشكال أقرب ما يمكن لنسب وتكوينات الخرسانة المسلحة الحديثة . وهكذا وتحت هذه التقاليد قام جارنييه بتحقيق أحلامه على الورق فى عديد من النماذج فى تصميمه المدينة الصناعية لأهداف ثلاثة اجتماعية وعمرانية ومعمارية . وقد زود المشروع بعمومياته وتفصيلاته اللازمة من مساكن العمال إلى أنواع مختلفة من المصانع . وفيه عالج جارنييه بالتفاصيل مختلف المشروعات المعمارية المطلوبة بحلول بسيطة ومباشرة . وقد وصل بأشكاله إلى الأساس الذى بنت عليه أجيال المعماريين اللاحقة تطوراتهم . وقد ظهر فى هذا المشروع المبكر (١٩٠١ — ١٩٠٤) تشكيلات معمارية على مرحلة بعيدة من التطور الإنشائى والجمالى بالخرسانة المسلحة وخاصة فى مبانيه الانتفاعية . فتصميمه لمحطة السكة الحديد بالمدينة (شكل ٥٩) أظهر بعد نظر فى الاتجاه المعمارى اللاحق، فقد استعمل بلاطات رشيقة كابولية على أعمدة رفيعة للغاية فى وقت لم تكن مثل هذه الأعمدة قد ظهرت فى المجال الإنشائى * كما استعمل فى أبسط وأنق التكوينات الأعمدة الخرسانية والقواطيع الزجاجية فى الصالة الرئيسية للمحطة المذكورة . كما استعمل فى تصميمه للقناطر فى المدينة حوائط ساندة هائلة مزدوجة الانحناء منسابة إلى أسفل لتلتحم بالقاع الصخرى للنهر (شكل ٦٠) .

ومن الممكن أن يكون تعيين جارنييه كمعمارى لمدينة ليون بين عامى ١٩٠٥ و١٩١٩ فرصة له

* طور هذه الأعمدة المهندسان ماريار فى سويسرا وتيرنر فى أمريكا عام ١٩١٠ (انظر الفصل الرابع) .

لكى يحقق أحلامه ومشروعاته للمدينة الصناعية ، إلا أنه فى هذه المشروعات الواقعية لم يتجه إلى التشكيلات الرشيقة التى تقدم بها فى شبابه . ففى مبنى الإستاد فى ليون المنتهى عام ١٩١٠ (شكل ٦١) استعمل مداخل تذكارية من عقود ضخمة وحوائط مستمرة من الخرسانة المكشوفة دون أى محاولة فيها لتقليد الأحجار بالدهان أو التقسيمات ، كما استعمل تشابيك زخرفية بسيطة ومؤثرة . هذه كانت لغة جارنييه لعمارة الخرسانة المسلحة ، وقد سار فى نفس هذا الاتجاه فى أعماله الأخرى بالمدينة : الاثنان وعشرون جناحاً فى مستشفى هيريوت (Herriot) فى جرانج — بلانش (Grange-Blanche) المصممة عام ١٩١١ والذى ابتدأ تنفيذها عام ١٩١٥ ، ومدرسة الفنون ، ومصنع لبسترة اللبن ، ومبنى البورصة والمصحة الأمريكية الفرنسية . وجميعها تعبر عن وعى بخواص التماسك والبلاستيكية للخرسانة بنسب كلاسيكية بين الأجزاء الصماء والفتحات . أما مبنى « المذبح » فهو جرىء إنشائياً قبيح فى شكله العام وليس فيه من الدراسات المعمارية ما فى مبانى بيريه الصناعية .

دومينيكس بوم

تطبيق آخر بالإنشاء الخرسانى ظهر معاصراً لأعمال بيريه وجارنييه للمعمارى الألمانى بوم أستاذ قسم الفن الدينى بمدرسة الحرف بكولونيا (Cologne Crafts School) ، وقد استعملها كمادة بلاستيكية بإمكانيات للتشكيل المستمر حيث تكون الحوائط والأسقف وحدة مادية وهندسية واحدة على شكل القطاع المكافئ . هذا القطاع كان مناسباً كتعبير رمزى وبصرى عن بلاستيكية الخرسانة المسلحة ، وذلك فى تصميمين له لكنيستين ألمانيتين ، أولاهما الكنيسة الكاثوليكية فى بيشوفشايم (Bishofsheim) عام ١٩٢٦ (شكلى ٦٢ ، ٦٣) وكنيسة ذكرى الحرب فى نيوألم (Neu-Ulm) (شكلى ٦٤ ، ٦٥) . وفى الكنيسة الأخيرة استخدم بوم الطريقة المعروفة باسمه * للشدات الدائمة والتى ساعدته على الوصول إلى أشكاله المعقدة ** ، وبذلك تلافى قيود الشدات الخشبية التى فرضها بيريه على الإنشاء الخرسانى . وبينما يفرض اتجاه بيريه هياكل متعامدة ثابتة فتحت طريقة بوم للشدات الدائمة المجال للتشكيلات البلاستيكية ذات التعبير الهندسى والتأثير المعمارى الدراماتيكى *** . وقد نتج هذا التأثير عن الظل والنور الإيقاعى فى المستويات المتقاطعة . وقد استعمل الحائط الخارجى المسنن كما

---

* انظر الفصل الثالث لتفاصيل أكثر هذه الطريقة .

** فى المؤتمر الدولى السابع للمعماريين المنعقد فى لندن عام ١٩٠٦ شرح بروفسون ويليمانز (Wielemans) طريقة استعملها فى النمسا فى السنين العشر السابقة لبناء الأسقف والعقود المقسمة Coffered باستعمال وحدات حافزة لشدات دائمة ٢٢ .

*** يجدر بنا أن نلفت النظر هنا إلى الصلة القوية بين طريقة بوم وطريقة نيرفى للإنشاء بالشدات الدائمة وإلى النتائج المتشابهة لكل .

نفذ حوائط المعبد الدائرى الملحق بالكنيسة مسننة وملتوية على درجة عالية من البلاستيكية .

ومما هو جدير بالملاحظة أن بوم الذى بلغت دواخله بالخرسانة درجة عالية من الصراحة والتعبير كما واجهات كنيسته بالطوب كما هو شائع فى عمارة الخرسانة بشمال أوربا فى ذلك الوقت .

الاتجاهات المعمارية بالخرسانة المسلحة فى العشرينيات

مع أن هدف هؤلاء المعماريين السابقين كان واحداً ، فإن النتائج كما عرضناها مختلفة ، ولم تكن هذه النتائج هى كل ما ظهر فى الأحقاب الأولى من القرن العشرين ، غير أنها تعتبر أساسية بالنسبة للمعالجات الأولى للمادة ، وبالنسبة لتأثيرها فى اللغة المعمارية الحديثة للخرسانة المسلحة . ومعاصر لهذه التشكيلات الأساسية استمر استعمال المادة كمنفذة لاتجاهات الإحياءات والاقتباسات التى استمرت إلى وقت قريب فى أمريكا وأوربا . فمن مبانى الباروك فى اتلانتك سيتى بأمريكا إلى طرز إسبانية فى فلوريدا وهندية فى البكرك (Albuquerque) بنيومكسيكو وإسلامية فى لوس أنجليس وسان جوان ببورتوريكو ، ومن كنائس بيزنطية فى سان فرنسسكو إلى رومانسكية فى لوس أنجليس . ونظرة على كتاب أندردونك (Onderdonk) [٢٣] عن طراز الخرسانة المسلحة الصادر بأمريكا عام ١٩٢٨ توضح مدى انتشار هذه الإحياءات بالخرسانة فى الربع الأول من القرن العشرين ، ومدى اهتمام معمارى وكتاب هذه الفترة بالطرق المختلفة لإنهاء الأسطح الخرسانية المكشوفة . وقد شغل بحث هذه الطرق التى شملت إظهار تأثير الشدات وكشف الركام وتلوين الخرسانة بالركام الملون والأسمنتات والدهان والرش والتكسيات المختلفة والتشابيك والتماثيل الخرسانية أكثر من نصف الكتاب المذكور* مما يدل على الأهمية التى أعطيت للأسطح فى هذه الفترة من التطور . فى حين أن معالجة أندردونك للشكل المعمارى بالخرسانة المسلحة عن طريق العقد المكافئ شغلت فصلا واحداً من الكتاب . وقد احتلت أعمال فرانك لويد رايت بالخرسانة فى أمريكا وخاصة فى معبد يونتى (Unity) فى أوك بارك عام ١٩٠٦ (شكل ٦٦) وفى حدائق المدويى (Midway) بشيكاجو سنة ١٩١٤ (شكل ٤١) ، واستعمالاته العديدة للبلوكات الخرسانية الزخرفية فى المنازل العديدة التى بناها هو وأولاده فى أمريكا مكاناً بارزاً فى التحليل .

ومع ظهور الجيل الثانى من المعماريين المعاصرين ظهرت اتجاهات معمارية جديدة — منها التعبيرية التى نظرت إلى الخرسانة كمادة مناسبة للتشكيل فى أشكال انسيابية (Fluid) فى كتل مستمرة متحررة من الخطوط التقليدية الرأسية والأفقية . وقد انتشر هذا الاتجاه فى ألمانيا فى العشرينيات فى أعمال مندلسون

* الدعاية الأمريكية للأسمنتات والخرسانة ما زالت تستعمل هذه الإمكانيات الواسعة للخرسانة كميزة لها فى دعايتها للمادة .

فى برج أينشتين سنة ١٩٢٠ (شكل ٥٤٩) ووالتر جروبيوس فى النصب التذكارى للحرب فى وايمار عام ١٩٢١ ورودلف ستينر (R. Steiner) فى مبنى جويتيانم (Goetheanum) فى دورناخ (Dornach)* بجوار مدينة بازل Basel بسويسرا عام ١٩٢٣ (شكل ٦٧) . ويحوى المبنى الأخير المركز الرئيسى لجمعية فلسفية معروفة باسم (Anthroposophical Society) ومدرسة العلوم الروحية التى تتبعها . وقد اشتق اسم المبنى من اسم الشاعر الألمانى جويته الذى تعتبر فلسفته أساس فلسفة مؤسس وراعى الجمعية رودلف ستينر . وستينر ليس بمعمارى ولا ذى خبرة أو تجربة مهنية . وهو يعتبر الأشكال المعمارية كائنات عضوية تتعرض لما تتعرض إليه الحياة النباتية والحيوانية ، وهدفه المعمارى كان "إضافة الحياة إلى الأشكال" وتكوين توافق وتكامل بين الركائز والأسقف وتوازن بين الأشكال المقعرة والمحدبة . وقد نفذ أول مقر لجمعيته بالخشب عام ١٩١٣ ، ولكنه احترق عام ١٩٢٢. وقد كانت الخرسانة المسلحة المادة المختارة للمبنى الثانى ليس فقط لما تمتاز به من مقاومة للحريق ، بل بالأخص لمميزاتها البلاستيكية . وقد نفذ ستينر مبناه بالخرسانة بالاستعانة بنموذج دراسى بالطين ، وذلك للاستفادة به فى إنشاء الشدات الخشبية اللازمة .

ومن الطبيعى أن ينظر أصحاب اتجاهات الشكلية التكعيبية (Cubism) فى فرنسا والتجريدية (De stijl) فى هولندا وألمانيا وروسيا من أوائل القرن العشرين إلى ما قبل الحرب العالمية الثانية إلى الخرسانة المكشوفة كسطح غير مستو غير نقى معرض لسوء الصناعة والأركان المعيبة بألوان غير صريحة ولا محددة . ومن ثم فقد اتجهوا إلى استعمالها كهياكل تكعيبية مع حوائط من الطوب مكسوة بالبياض ، ومكونة لأشكال تكعيبية ذات مستويات محددة صريحة . ومن هؤلاء لوكوربوزييه الذى استعملها فى مساقط حرة وبتكوينات تكعيبية مبسطة فى مشروعاته السكنية الأولى . وقد عبر عن الإنشاء الخرسانى الهيكلى فى أغلب مبانيه بكشف أعمدته بالأدوار الأرضية وبالأسطح فى بعض الأحوال . وقد قدم لوكوربوزييه مشروعاً للإنشاء الهيكلى الخرسانى فى عام ١٩١٤ فيما سماه طريقة دوم - اينو (Dom-Ino System) (شكل ٦٩) . كما نفذ المهندس أدولف لوس فى ڤينا عام ١٩١٠ ما يحتمل أن يكون أول منزل حديث لرواد هذا الاتجاه التكعيبى بالهيكل الخرسانى المكسو بالبياض والخالى تماماً من الزخارف ، وهو منزل ستانير الشهير . وقد وضع لوس فيه الخطوط الرئيسية لاتجاه الطراز الدولى بالخرسانة والطوب والبياض (شكل ٧٠) .

---

* عاد الاهتمام بهذا المبنى فى الكتابات الحديثة — لما يحمله من شبه فى الاتجاه بصالة الاحتفالات ببرلين للمهندس شارون (Scharoun) وبكنيسة رانشان (Ronchamp) للمهندس لوكوربوزييه وهى التى لا تبعد كثيراً فى موقعها عن دورناخ (٢٤) .

ومن الاتجاهات المعاصرة التى كان لها أكبر الأثر فى رسم الصورة الكاملة لعمارة الخرسانة المسلحة والتى سنخصص لها الفصلين القادمين الاتجاهات التكنولوجية والإنشائية . هذه المحاولات الخلاقة تهدف إلى استغلال إمكانية الخرسانة المسلحة فى خلق المستويات الفعالة ، وهى فى واقعها اتجاهات نحو التبسيط والنقاء الإنشائى تزعمها منذ عام ١٩٠٥ الإنشائى الفنان روبرت مايار فى سويسرا فى « الكبارى » والمنشآت ذات البلاطات الفعالة ، ومنذ عام ١٩١٠ فى الأعمدة المشرومية . هذا التطور لم يستغل معمارياً إلى أقصى احتمالاته حتى اليوم ، اللهم إلا فى بعض أعمال فرانك لويد رايت الحديثة . وقد تطورت إمكانيات البلاطة الخرسانية الفعالة وتحققت أغلب الأشكال الإنشائية المستعملة اليوم فى العشرينيات والثلاثينيات . ومع ذلك استمرت الأعمال المعاصرة لبناء الهياكل العالية فى استعمال التشكيلات المعمارية التقليدية من بلاطات إلى كمرات ثانوية إلى كمرات رئيسية إلى أعمدة فى الإنشاء متعدد الأدوار . كما استعملت هياكل خطية (Linear) منحنية تحمل كمرات مستقيمة أو منحنية حاملة للبلاطات الخرسانية كما فى الصالة المئوية (Centenary hall) المعاصرة لأعمال مايار فى برسلاو (Breslau) عام ١٩١٢—١٩١٣

وهكذا أصبحت عمارة الخرسانة المسلحة فى الربع الأول من القرن العشرين موضع تجارب كثيرة فى اتجاهات متعددة ، وموضوع مناقشات فى مؤتمرات دولية متخصصة كالمؤتمر الدولى السادس للمعماريين المنعقد فى مدريد عام ١٩٠٤ ، والسابع المنعقد فى لندن عام ١٩٠٦ ، والثامن فى النمسا عام ١٩٠٨ . مثل هذه المؤتمرات أثارت الاهتمام المهنى بالمادة وإمكانياتها . كما ظهرت فى أوائل الربع الثانى من القرن العشرين ، وحوالى عام ١٩٢٨ مقالات عديدة وكتب عن الطراز المعمارى للخرسانة المسلحة ساعدت على تقديم المادة للمهندسين والعامة الذين أصبحوا أكثر تقبلا لها ولأشكالها* . ومع أن مرحلة الاقتباس كانت فى نهايتها إلا أن الجو المهنى والذوق العام لم يخل من معارك فرعية هنا وهناك . الطريق أصبح مفتوحاً نحو الاعتراف المهنى بالإمكانيات المعمارية للمادة ، كما أصبحت طرق التشكيل والتكوين المبنية على أساس إنشائى سليم متاحة للمعماريين الشبان لاكتشافها معززة بتقدم كبير فى المادة وطرق الإنشاء والحسابات .

اليوم ننظر "للتكنولوجيا كامتداد للحضارة لا كعائق لها ، والمعماريون والمهندسون مشغولون بمحاولة إيجاد استعمالات وتعبيرات جمالية جديدة للاكتشافات التى غيرت المجتمع . كما أصبح التعبير الصادق أحد المبادئ الأساسية لقواعد الجمال المعاصرة "(٢٥) .

* انظر قائمة المراجع فى آخر الكتاب للاطلاع على الكتب والمقالات الصادرة فى هذه الفترة .

٣

التقدم في المواد وطرق الإنشاء

الخرسانة المسلحة مادة ذات مكونات متعددة ، بالإضافة إلى عوامل هامة تدخل فى طريقة إنشائها مما تؤثر بدورها فى شكل المنتج المعمارى . ومما لا شك فيه أن التطورات والتحسينات التى أدخلت على مواد الخرسانة وعلى طرق إنشائها قد أثرت فى عملية التصميم المعمارى لمنشآت الخرسانة المسلحة . ومن وجهة النظر هذه سنحاول فى هذا الفصل أن نحلل التقدم الذى طرأ على المواد وطرق الإنشاء فى السنين الأخيرة .

المواد : اتجهت التحسينات بصفة عامة نحو الاقتصاد والكفاية فى المنشأ الخرسانى — وذلك لسد احتياجات معمارية مختلفة عن طريق الوصول بالخرسانة والتسليح إلى أعلى درجة من القوة كوحدة متماسكة تحت كل ظروف الطقس المتوقعة . وقد كان التقدم فى هذا الاتجاه كبيراً فى أغلب نواحيه .

الركام تعتمد قوة الخرسانة إلى حد بعيد على نوع الركام المستعمل . ولهذا فإن اختيار ركام يتوافر فيه التجانس والصلابة والقوة والاحتمال هو من أهم مستلزمات الخرسانة القوية . مثل هذه الخرسانة تكون ثقيلة الوزن تتراوح كثافتها من ٢,٣ إلى ٢,٥ طن/م٣ ، وهى موصلة للحرارة والصوت . ومع أن قوة الخرسانة مطلوبة فى أحوال كثيرة ، إلا أنه فى أحوال أخرى تتطلب الاحتياجات خرسانة خفيفة الوزن ، وخاصة فى المبانى العالية والحوائط العازلة للحرارة والصوت . وهنا تبرز أهمية استعمال أنواع خفيفة الوزن من الركام وهذه قد تكون طبيعية أو صناعية . ومن احتمالات الركام الطبيعية الأحجار البركانية بأنواعها المختلفة التى تستعمل بعد تكسيرها بأحجام متباينة منها أحجار الخفاف (Pumice)* التى استعملها الرومان فى مبانيهم وأحجار السكوريا (Scoria) التى تزن ٠,٥ إلى ١,ـــ طن /م٣ . والركام الصناعى قد يكون من البقايا الصناعية (By-products) كبقايا احتراق الفحم تحت درجات حرارة عالية حيث تكون البقايا صلبة خالية من الكبريت وأوكسيد الحديد والمواد القابلة للاشتعال . هذه البقايا تزن من ٠,٨ إلى ١,٢٠ طن/م٣ ، وهى تتمدد بمعالجتها بكميات محدودة من المياه . كما ينتج الركام الصناعى نتيجة لتعريض المواد الخام للحرارة بطرق خاصة . والركام الطينى أو الطينى الصفحى (Shale) المتمدد المستعمل فى أمريكا يزن بين ٠,٧ إلى ١,٢ طن /م٣ ويصنع بتسخين الحجر الطينى الصفحى أو الطين إلى حالة الانصهار والتكسير . كما ينتج أنواع من الركام الشديد

* استعملت هذه الأحجار فى خرسانة قصر سڤيروس (Severus) الرومانى ، وما زالت تستعمل فى اليابان ، حيث بلغ استهلاك حجار البوميس فى الخرسانة لعام ١٩٦٠ ٧ ملايين متر مكعب .

الخفة من تسخين بعض أنواع الزجاج البركانى (volcanic glasses) الذى يتمدد بالحرارة ويكون ركاماً على درجة عالية من المسامية والخفة ويزن من ١ر إلى ٢ر طن/م³ ويسمى البرليت (Perlite) ، وهناك نوع آخر بنفس الوزن يسمى الزونوليت (Zonolite) وينتج عن تسخين معدن من مجموعة المايكا لثوان قليلة تحت درجة ١٨٠٠ ف°. ويمتاز البيرليت والزونوليت بخفة وزنهما وخاصيتهما فى العزل[١]. مثل هذه المواد تكون مفيدة للغاية فى البلاطات الخرسانية السابقة الصب .

وقد تستعمل مواد أخرى كركام خفيف الوزن ، ومنها نشارة الخشب ، التى يغلب استعمالها لرخصها . وخرسانة نشارة الخشب خفيفة الوزن وعازلة للحرارة ولينة وسهلة القطع بعد الجفاف ، كما أنها تقبل المسامير والقلاووظ . ومن المستحسن أن تترك النشارة للجفاف لمدة سنة قبل الاستعمال بحيث تتم الخلطة الجافة للنشارة والأسمنت قبل إضافة المياه . وقد جربت نسبة ١ : ٣ بالحجم من الأسمنت والنشارة على التوالى مع إضافة الماء بقدر يكفى للخلط ، ووصلت قوة الخرسانة الناتجة إلى ١٤ كجم/سم ٢ بعد ٢٨ يوماً . وقد يضاف الرمل إذا كانت الحاجة إلى خرسانة أقوى فى الاحتكاك .

وهناك اتجاه هام نحو تخفيف وزن الخرسانة عن طريق الخرسانة الغازية (gas concrete) وذلك بإنتاجها بخلايا مسامية « غازية » وهذه صنعت لأول مرة فى السويد سنة ١٩٢٩ . ومنذ ذلك الوقت تمت تطورات هامة فى طرق صناعتها وطرق استعمال المادة ، وفيها يخلط الجير والسليكا ويتم طحنهما معاً لدرجة عالية من النعومة . ومادة السليكا هنا تتنوع تنوعاً متبايناً ، فمن الممكن استعمال الخبث الناتج من أفران الحديد العالية (Blast Furnace slag, shale ash) أو البوتزولانات الطبيعية أو البوميس إلخ . والمزيج من ٣٠ ٪ جير ، ٧٠٪ سليكا بعد طحنه يمزج جيداً بالماء ليكون عجينة ، ويضاف إليه مسحوق الألومنيوم الناعم ، ويتم بذلك تفاعل كيماوى ينتج عنه مادة مسامية من فقاعات صغيرة من الهيدروجين محاطة بهيدرو سليكيت الكالسيوم . وهناك طريقة تستعمل أساساً فى ألمانيا ، وهى تستخدم بروكسيد الهيدروجين كعامل رغوى (foaming agent) . ودرجة المسامية فى الخرسانة الغازية ، وبالتالى كثافتها تتوقف على كمية مسحوق الألومنيوم أو أى مواد وسيطة أخرى . ويساعد على سرعة الشك وجود الوحدات الخرسانية فى أفران لمدة ١٥ إلى ٢٠ ساعة ، وعند خروجها من الأفران يمكن نشرها بالأحجام والأطوال المطلوبة[٢] .

وتستعمل الخرسانة الغازية فى عزل الخنادق المحتوية على مواسير المياه الساخنة فى المدن ، وكطبقة

عازلة فوق الأسقف الخرسانية . كما تستعمل كبانوهات حوائط سابقة الصب ؛ وفى هذه الحالة تدمج فيها الوصلات الكهربية ومواسير المياه الباردة والساخنة ومواسير الصرف . كذلك تحتوى على الفتحات اللازمة من نوافذ وأبواب . ويتم تسليحها بواسطة شبكة من الصلب تدفن فى الخلطة . ولاحتواء مثل هذه الخرسانة على فقاعات كثيرة من الهواء فإنه يلزم الاحتياط ضد صدأ حديد التسليح ، وذلك إما بمعالجته بالفوسفات وإما بمحلول ديكروميت البوتاسيوم المتبوع بالتغطيس فى محلول بتوميني .

وقد تستعمل الخرسانة الغازية فى الحوائط عن طريق بنائها ببلوكات بأحجام كبيرة تبنى فى مداميك أفقية أو بصبها على شكل بانوهات مزدوجة رأسية بارتفاع الدور ، وهذه تتكون عادة للحوائط الخارجية من ٥ سم خرسانة غازية و ٥ سم طبقة بولاسترين متمدد و ٧٫٥سم خرسانة غازية . هذه البانوهات العازلة تستعمل فى الحوائط الحاملة للمنازل الصغيرة وفى الحوائط غير الحاملة فى العمارات العالية . كما تصب من الخرسانة الغازية بلاطات للأسقف ، وهى عادة بمقاسات وبطول يساوى بحر الحجرة ومسلحة بأسياخ من الصلب فى وسطها . وهذه ترص الواحدة تلو الأخرى ، وعادة تنفذ عروضها العليا أقل من السفلى وتملأ الفراغات الناتجة فى سطح السقف العلوى بواسطة خليط أسمنتى ، وذلك للصق البلاطات .

الاسمنتات

نتيجة للبحوث القصيرة والطويلة الأمد التى قام بها الإخصائيون تقدمت صناعة وخواص الأسمنتات تقدماً هائلا فى إتجاهات مختلفة مما نتج عنه زيادة قوة وتحمل الخرسانات تحت الظروف المتباينة .

وترجع أسباب الزيادة الأخيرة فى قوة الأسمنتات إلى زيادة فى درجة النعومة التى تصل إليها الأسمنتات الحديثة عند مقارنتها بأسمنتات ثلاثين أو خمسين سنة مضت*. وقد زادت تبعاً لذلك أهم خاصية للخرسانة وهى قوتها فى الضغط نتيجة للزيادة فى قوة الضغط للأسمنتات المنتجة فى السنين

* أعطت تجربة طويلة الأمد فى الولايات المتحدة النتائج التالية لعينات خرسانية تحتوى تقريباً على نسب متساوية من الأسمنت (٤)

خرسانة مصنوعة فى عام	جهة الانكسار فى الضغط بالأرطال على مكعبات مقطعها ١٦ بوصة مربعة بعد فترة				
	شهر واحد	سنة واحدة	٥ سنوات	١٠ سنوات	٣٠ سنة
١٩١٠	١,٩٢٠	٣,٤٤٠	٤,٢٥٠	٤,٠٥٠	٦,٢٥٠
١٩٢٣	٣,٠٠٥	٤,١٦٥	٦,٢١٥		
١٩٣٧	٥,١٤٥	٦,٧١٥	٧,٦٤٠		

الأخيرة . وفى الاتحاد السوفيتى زاد متوسط قوة الأسمنت من ٣٥٣ كجم/سم٢ عام ١٩٥٠ إلى ٤٢٩ كجم/سم٢ عام ١٩٦٠ . هذا وقد وصل متوسط قوة الأسمنت البورتلاندى عام ١٩٦٠ إلى ٤٨٢ كجم/سم٢ وقد تم إنتاج أسمنتات بقوة ٧٠٠ كجم/سم٢ وابتدأت صناعة أسمنت بقوة ٨٠٠ كم/سم٢ [٣].

وبالإضافة إلى الأسمنت البورتلاندى العادى ، وهو المناسب فى الاستعمالات العادية ، أنتجت البحوث أنواعاً أخرى من الأسمنتات لكى تناسب أغراضاً خاصة للإنشاء .

ومن الخواص المطلوبة للأسمنت قصر مدة الشك النهائى للخرسانة فى الحالات التى يطلب فيها فك الشدات بسرعة أو استعمال الخرسانة المسلحة بأسرع وقت ممكن . وقد ظهرت للأسمنت الألومينى سريع التصلب (Rapid hardening) الذى أنتجه الكيماوى الفرنسى باڤان دى لافورج (Pavin de Laforge) سنة ١٩١٣ مزايا عديدة خلال الحرب العالمية الأولى ، ولو أن استعمالاته التجارية لم تبدأ إلا سنة ١٩١٨ فى فرنسا وسنة ١٩٢٣ فى إنجلترا [٥] . وسرعان ما أنتج الأسمنت البورتلاندى ذو القوة العالية المبكرة (High-early strength) كمنافس له فى عام ١٩٢٧ [٦] . وفى بعض الإنشاءات ذات الصبغة الخاصة تتطلب الظروف خفض معدل الحرارة المتولدة عن الشك كما فى حالات الكتل الخرسانية الضخمة فى السدود حيث يكون ارتفاع الحرارة ذا تأثير خطير فى المنشأ . وقد كان اكتشاف الأسمنت البورتلاندى المنخفض الحرارة (Low heat) ذا فائدة كبيرة فى إنشاء سد هوڤر وغيره من السدود الضخمة بالولايات المتحدة .

ويعتبر الانكماش بعد الشك من الصفات السائدة لأنواع الأسمنتات السابقة والمسببة لظهور شدوخ بها ، ولو أن هذه الخاصية تتغير بتغير معدل ازدياد القوة . فمقاومة الشدوخ ومعدل ازدياد قوة الأسمنت تتناسبان عكسيًّا . وقد أنتج المهندس الفرنسى هنرى لوسييه (Henri Lossier) نوعاً جديداً من الأسمنت يقوم بدراسته وتطويره لمواجهة مشكلة الانكماش [٧] . هذا النوع من الأسمنت ينتفخ بانتظام أثناء تصلبه . وبالسيطرة على هذا الانتفاخ – إما من الخارج عن طريق حواجز ، وإما من الداخل بواسطة التسليح – يمكن أن يؤدى الانضغاط المتزايد لجزيئات الخرسانة إلى زيادة قوتها النهائية فى الضغط . وعند إنتاج هذا الأسمنت تجاريًّا ستكون له قيمة عملية عظيمة فى كثير من الإنشاءات . فبالإضافة إلى تأثيره فى التخلص من الشدوخ الناتجة عن الانكماش فإنه يحول الخرسانة تلقائيًّا إلى خرسانة سابقة الإجهاد .

ولمقاومة المؤثرات الخارجية فى الخرسانة أنتجت صناعة الأسمنت أنواعاً تتناسب خواصها مع الظروف المختلفة . فلمقاومة التآكل الناتج بفعل المياه الأرضية فى التربة الكبريتية يمكن استعمال الأسمنت البورتلاندى

المضاد للكبريت (Sulfate-resistant Portland cement) ، ولمقاومة تأثير الصقيع على الخرسانة تم إنتاج نوع هام من الأسمنت البورتلاندى ذى الهواء المحبوس (Air-entraining Portland Cement) . ومن المعروف أن جميع الخرسانات المستعمل فيها الأسمنت البورتلاندى العادى تحتوى على نسبة من الهواء المحبوس تتراوح عادة من ١,٥ إلى ٢ فى المائة . هذا النوع من الهواء يوجد على هيئة فقاعات كبيرة نسبياً وموزعة توزيعاً غير متجانس ، وليس لها تأثير فى تحمل الخرسانة . أما الهواء المحبوس المتعمد فهو يكوّن من ٣ إلى ٦ فى المائة من حجم الخرسانة ، ويتكون من ملايين الكرات الدقيقة المتجانسة التوزيع . هذا الهواء يرفع من مقاومة الخرسانة للتجمد والتقشير وبخاصة فى أسطح الأرصفة حيث تستعمل الأملاح الخاصة بذوبان الثلوج . ومن الطبيعى توقع انخفاض فى القوة فى هذا النوع من الخرسانات ، وهذه يمكن تعويضها بتعديلات فى نسب الخلطات مع استغلال إمكانية إنقاص نسبة الرمل والماء . هذا النوع الخاص من الأسمنت البورتلاندى تضاف إليه أثناء صناعته كمية صغيرة من مادة مكونة للهواء المحبوس (Air-entraining agent)، وهذه تكون عادة مادة فوارة* . كما يمكن استعمال أسمنت بورتلاندى عادى مع إضافة المادة المكونة للهواء على الخلطة ، وكل طريقة لها مزاياها وعيوبها . ويعتبر النجاح فى إنتاج خرسانة مقاومة للصقيع بطريقة اقتصادية عاملا هاماً فى إمكانية استعمالها عارية فى الأماكن التى يعتبر الصقيع فيها من الموانع الرئيسية ، وهذا بدوره سيكون له تأثير فى عمارة الخرسانة المسلحة فى تلك المناطق .

صلب التسليح

لتأمين قيام الخرسانة المسلحة بوظيفتها على الوجه الأكمل يلزم التأكد من تماسك الصلب والخرسانة فى جميع ظروف التحميل الممكنة. ومحاولات زيادة هذا التماسك قديمة قدم طريقة رانسوم (Ransome). هذا وقد أنتجت صناعة الصلب الحديثة أنواعاً من أسياخ التسليح ذات مسطح خارجى أكبر بالنسبة لأوزانها ، ومن ثم ذات تماسك أكبر مع الخرسانة المحيطة . وقد تمت بعض اختبارات فى الولايات المتحدة على ثمانية أنواع من أسياخ التسلح . وقد تبين أن أقل شدوخ فى الخرسانة ناتجة عن الشد ظهرت على عينات خرسانة مسلحة بأسياخ تسليح لها أكبر مسطح خارجى[٨]. وفى هذه الحالة يمكن زيادة حمل التشغيل مما ينتج عنه وفر فى كمية الصلب المستعمل . وقد أنتج نوع من الأسياخ ذات النتوءات فى السويد ذو مقاومة قصوى تزيد على ٦٧٥٠ كجم/سم^{٢} وقد استعمل منذ عام ١٩٥٣ بجهود مسموحة تتراوح بين ٣٤٢٠ كجم/سم^{٢} و ٣٧٢٠ كجم/سم^{٢}[٩].

* الأحماض الدهنية (Fat acids) والكحولات الثقيلة (Fatty alcohols) والرتنجات (resins) .

وأسياخ التسليح تصنع بالسحب الساخن لإنتاج أسياخ دائرية أو ذات نتوءات أو بالتشكيل على البارد . والسحب الساخن ينتج أسياخاً ذات نسبة كربون قليلة تتحكم فى جهود التشغيل المسموح بها فى حدود حد المرونة (Elastic Limit) . والتشكيل على البارد يتم بعد السحب على الساخن وذلك بتعريض الأسياخ لإجهاد شد على البارد أكبر من إجهاد حد المرونة ، و بوقف هذا الإجهاد يرجع السيخ إلى حالته محتفظاً ببعض الامتداد . وعند تحميله ثانية يرتفع حد المرونة الأول إلى نقطة قريبة من إجهاد الانكسار ، وبذلك يرتفع إجهاد التصميم تبعاً لذلك . ويتم التشكيل على البارد بالسحب الشديد (Hard drawing) بالنسبة للأسياخ الرفيعة أو بتضفير سيخين متماثلين بالنسبة للأقطار حتى $\frac{٧}{٨}$ بوصة أو بالتواء سيخ واحد مستدير أو مربع المقطع . وقد استعملت طريقة جديدة فى سويسرا لإنتاج صلب ذى جهد شد عال ، وذلك عن طريق لى سيخ له نتوءان مستمران حلزونيان وبروزات متقطعة على جانب واحد . كما أمكن الحصول على أسياخ عالية جداً فى الشد بواسطة الالتواء على البارد لأسياخ ذات نتوءين حلزونيين بارزين مستمرين ، ونتوءات بارزة على الجانبين [١٠]. ونوع ثالث ذو قوة شد عالية جداً بالمعالجة الحرارية بالإضافة إلى السحب على البارد بعمل تحزيزات بالطبع أو السحب تعقبها عملية تقسية [١١]. واستعمال مثل هذه الأسياخ العالية القوة يكون بدون فائدة فى الخرسانة العادية ، إلا إذا توافر التماسك اللازم بين أسياخ التسليح وبين الخرسانة التى يلزم أن تكون ذات مقاومة عالية . واستعمال النوع الثالث الذى تصل قوة شده إلى ٢١٤٠٠ كجم / سم^{٢} لا يكون اقتصادياً إلا فى حالة الخرسانة السابقة الإجهاد [١٢]. كما يعتبر استعمال أسياخ السحب الدائرية على الساخن غير اقتصادى إلا فى حالة عدم توافر الأنواع الأخرى ، أو فى حالة التسليح الثانوى . والأنواع الأكثر اقتصاداً هى أسياخ السحب الساخن ذات النتوءات ، وهذه تصل قوتها إلى ٦٠٠٠ كجم/سم^{٢} وأسياخ التشكيل على البارد عموماً .

هذا وقد انتشر الاتجاه فى أمريكا والاتحاد السوفييتى إلى سبق تجهيز مجموعات التسليح على هيئة شبكة (mat) لتسليح البلاطات والأسقف القشرية ، وعلى هيئة بلوكات (Blocks) لتسليح الكمرات والجمالونات . وتوفر هذه الطريقة مجهودات كبيرة فى تقطيع ورص وتكسيح الحديد على الموقع . وفى الاتحاد السوفييتى يتم ربط حديد التسليح عن طريق اللحام (spot-Contact) وهذه هى أكثر الطرق تقدماً حيث إنها تتم بمكنات اللحام ذات الكفاءة العالية ، وذلك بالضغط على السيخين المراد لحامهما ، وإرسال تيار كهربى يسخن المادة إلى الحالة البلاستيكية ويوفر الضغط لحاماً متيناً . ويسبق تجهيز مجموعات التسليح

لا يحتاج العمل على الموقع إلا إلى عدد قليل من العمال . والشبكات السابقة التجهيز اللازمة لتسليح البلاطات يتم توريدها للموقع على هيئة لفات أو وحدات مسطحة . وفى اللفات ترص أسياخ التسلح الرئيسية موازية لطول اللفة ، والأسياخ الثانوية تكون عمودية و بأقصى قطر قدره ٥,٥ مالى ، وذلك لتسهيل عملية اللف. وفى الوحدات المسطحة يمكن أن يكون التسليح فعالاً فى الاتجاهين وبأى قطر. أما البلوكات اللازمة للكمرات فهى تصنع على هيئة أسياخ رئيسية طولية ورأسية رابطة ، وهى تورد إما مسطحة لكل جانب من الكمرة ثم يتم استكمال اللحامات على الموقع ، وإما على هيئة صندوق ثلاثى الأبعاد[١٣] .

طرق الإنشاء – تصميم الخلطة

الغرض الأساسى من تصميم الخلطة هو الوصول بأقل التكاليف إلى خلطة سهلة التشغيل تعطى خرسانة ، ذات قوة معينة مانعة لتسرب المياه بجانب صفات أخرى . وبما أن الأسمنت هو أغلى مكونات الخرسانة فمن المفروض أن الخلطة الاقتصادية هى التى تستعمل أقل كمية ممكنة منه مع ضمان الوصول بالخرسانة للصفات المرغوبة. وقد أثبتت التجارب أن قوة ومناعة الخرسانة لتسرب المياه تتناسب طردياً مع كمية الأسمنت المستعملة ، كما أن هذه القوة والمناعة تتناسبان مع كثافة الخلطة ، ومع مدى لدونتها . والخلطات الجافة ولو أنها قوية فإنها تتعرض لاحتمالات وجود الفجوات فى حالة عدم استعمال هزازات كهربية . كما أن زيادة نسبة الماء أكثر من الكمية اللازمة للدونة الخرسانة تسبب ضعفاً سريعاً فى قوتها .

هذا يقودنا إلى أهم اكتشاف فى مجال تصميم الخلطة تم عام ١٩١٨ وهو ما يعرف بنسبة الماء للأسمنت (Water-Cement ratio)

" فى الخلطات اللدنة السهلة التشغيل المصنوعة من ركام صلب ترتبط قوة الخرسانة بالنسبة الصافية بين مياه الخلط والأسمنت وتتحدد هذه النسبة (الصافية) بكمية المياه الباقية لتتحد مع الأسمنت عند ابتداء الشك "[١٤] .

وقد كان من المعتاد حساب نسبة الماء إلى الأسمنت بالحجم ، ولو أن النسبة بالوزن أسهل عند تصميم الخلطات الخرسانية . وقد تبين فيما بعد أن نسبة الماء للأسمنت لها علاقة خطية مباشرة بنسبة حجم الأسمنت والفراغات إلى حجم الأسمنت ذاته ، ومن ثم يتضح أن هذا القانون يعبر بطريقة عكسية عن القاعدة القائلة : إن قوة الخرسانة تتوقف على نسبة الأسمنت إلى الفراغات الموجودة بين الركام . وميزة هذا القانون هو بساطته واستقلاله عن أى متغيرات أخرى . ويتوقف النجاح فى

استعماله على الوصول إلى النسبة المناسبة للماء والأسمنت والتى تعطى القوة المطلوبة ، والوصول إلى التكوين المناسب للركام بأحجامه وأنواعه المختلفة الذى يعطى خرسانة سهلة التشغيل مع هذا الخليط من الماء ومع استعمال أقل كمية من الأسمنت . ومن المهم هنا التحكم فى مقادير المواد ، وبالذات الأسمنت والماء ، على الموقع .

عمليات الخلط

يجب أن تكون الخرسانة متجانسة فى جميع أجزائها ، شأنها فى ذلك شأن سائر المواد الإنشائية الأخرى ، ويجب تأمين هذا التجانس عن طريق الخلط الجيد ومراعاة الحرص عند نقل الخليط من مكان الخلط إلى الموقع النهائى للصب ، وكذلك فى عملية الصب نفسها .

وباستثناء بعض الدول فى أفريقيا وآسيا وأمريكا الجنوبية ، حلت الآلات محل الخلط اليدوى فى أغلب المشروعات الخرسانية الكبيرة منها والصغيرة ، وقد ثبت بعديد التجارب تفوق الخلط الميكانيكى على الخلط اليدوى فى الوصول لخرسانة أقوى . وقد ظهرت فى الولايات المتحدة وبعض بلدان أوربا صناعة الخرسانة الجاهزة الخلط والتى من شأنها تلافى متاعب الخلط فى الموقع . ومنذ عام ١٩٥٣ والخرسانة الجاهزة الخلط تستهلك أكثر من ٢٥٪ من كمية الأسمنت المصنوعة بالولايات المتحدة . هذه النسبة تكفى لإنتاج أكثر من ٥٥ مليون متر مكعب من الخرسانة ، وذلك حسب تقرير سنوى للجمعية القومية للخرسانة الجاهزة الخلط [١٥] . وتقوم بالخلط فى هذه الحالة هيئات متخصصة يحدد لها العميل مواصفات الخلطة المطلوبة . وفى هذه الحالة يمكن أن تتم عملية الخلط المركزى إما فى المصنع المختص ثم تنقل الخرسانة بسيارات نقل مجهزة بخلاطات ، وإما أن تتم عملية الخلط على الطريق إلى العملية أو بعد الوصول إليها . ومن صعوبات هذه العملية توقيت إتمام خلطات ذات كميات وخواص متفاوتة لتلائم المعدلات التى تتطلبها أعمال عديدة ، والتجانس بين خلطة وأخرى وبين أجزاء الخلطة الواحدة لعملية معينة [١٦] .

وفى عملية الصب ذاتها يلزم ضمان تجانس الخرسانة وملئها جميع فراغات الشدات فى الحوائط والأعمدة والكمرات وغيرها من الوحدات . وقد ثبتت كفاية المهزات الكهربية الداخلية للوصول للنتيجة المطلوبة . والمهزات الخارجية تصلح لتركيز الخرسانة على المستويات الأفقية كالبلاطات والأرضيات ، ومن الممكن باستعمال المهزات الكهربية الداخلية تحويل خرسانة ذات هابط صفر وعلى نصف قطر قدم من الهزاز إلى كتلة لدنة فى مدة ٢٠ إلى ٣٠ ثانية . واستعمال الهزاز يمكن من تقليل الهابط مع تقليل كمية الرمل المستعمل إلى حدود من ٢٨ — ٣٥ ٪ من وزن الركام كله [١٧] .

معاملة الخلطة الخرسانية

يجب المحافظة على تجانس الخلطة الخرسانية أثناء نقلها من مكان الخلط إلى مستقرها النهائى ويجب التزام الحرص عند نقل الخرسانة بواسطة مواسير الجاذبية (Gravity chutes) أو القزانات (Hoppers) أو خطوط الأنابيب (Piplines) أو سيور النقل (Conveyer Belts) حتى لاتنفصل جزيئات الزلط والرمل الكبيرة عن المونة . كما يجب مراعاة ذلك عند صب الخرسانة بواسطة العربات اليدوية أو مواسير الطرد أو الدلاء (Buckets)(١٨) .

وقد أدى اكتشاف تأثير نسبة الماء للأسمنت فى قوة الخرسانة الناتجة إلى استعمال خلطات خرسانية تحتوى على كميات أقل من الماء . ويؤدى الإهمال فى صب ومعاملة مثل هذه الخرسانة الجافة إلى تكون جيوب من الزلط والرمل وفجوات هوائية كبيرة غير متجانسة . وبالتقدم فى استعمال الهزازات الميكانيكية (Vibrators) تحسنت معالجة الخلطة بعد وضعها فى الشدات وقلت احتمالات وجود مثل هذه العيوب . كما تهيئ طريقة التفريغ (Vacuum) بديلا آخر للتحكم فى نسبة المياه ، وذلك بتهيئة مسطحات امتصاص للماء الموجود بالخرسانة بعد صبها فعلا بالشدات .

وفى الموقع يتعرض صب الخرسانة للعوامل الجوية ولا يخلو هذا من مخاطر فى الأجواء الممطرة . وفى الطقس البارد يتأخر شك الأسمنت ، كما يفسد الصقيع الخرسانة الحديثة الصب . وهذا يتطلب تسخين ماء الخلط أو الركام أو إضافة مواد ككلوريد الكالسيوم للأسمنت البورتلاندى لإسراع عملية الشك . وقد تطورت طرق صب الخرسانة فى الاتحاد السوفييتى ، مما ساعد على صب الخرسانة طوال أيام السنة . ففى درجة حرارة — ٣٥° م أمكن صب الخرسانة باستعمال لوحات تسخين كهربية . كما استعملت مانفات كهربية لتسخين الخرسانة المخلوطة أثناء نقلها من الخلاطات إلى موقع العمل .

اقتصاديات أعمال الشدات

تعتبر إعداد الشدات مرحلة أساسية فى مراحل الإنشاء بالخرسانة المسلحة (الأشكال من ٧١ إلى ٧٤) . ومن المعتاد أن يقام هيكل مؤقت تصب فوقه الخرسانة ، ثم تمضى فترة زمنية تكفى لتصلب الخرسانة تزال بعدها الشدة . وللمجهود والزمن والمواد المستهلكة فى هذه العملية أهمية اقتصادية كبرى بالنسبة للإنشاء بالخرسانة المسلحة . ففى الولايات المتحدة مثلا تبلغ نفقات الأيدى العاملة الحد الذى يرفع تكاليف أعمال الشدات لتتجاوز نصف تكاليف المنشأ بأكمله . ولذلك فإن المجهودات تتجه بإصرار نحو تقليل هذه التكاليف بقدر الإمكان . وقد تركت هذه العوامل الاقتصادية آثارها فى الأشكال المعمارية الناتجة . مثل هذه المجهودات اتجهت نحو حل مشاكل الإنشاء الخرسانى الاقتصادية كما

فتحت مجالات لتكوينات جديدة كانت من قبل صعبة أو مستحيلة البناء على الرغم من التكاليف المحدودة . وفى أغلب الأحوال وضعت الظروف الاقتصادية قيوداً وتطلبت تعديلات معينة فى التصميم لتلائم الظروف الإنشائية الخاصة . ومن الطبيعى أن يعتمد اختيار الحل الإنشائى الأوفق على طبيعة التصميم والظروف الإنشائية الخاصة بكل حالة .

سبق التجهيز : يحقق تقسيم المبنى الخرسانى المسلح إلى وحدات سابقة التجهيز تُجمع فى الموقع اقتصاداً كبيراً فى عمل الشدات . كما أن من شأنه إدخال المزايا الاقتصادية للإنتاج المتكرر على نطاق واسع إلى البناء بالخرسانة المسلحة بما فى ذلك من وفر فى المواد والعمالة . فمما لا شك فيه أن سبق التجهيز يحقق وفراً هائلا فى مواد الشدات وعمالتها . كما أنه يسهل الإنشاء بوحدات مفرغة صندوقية سواء للأعمدة أو الحوائط أو بوحدات رفيعة ذات ضلوع للبلاطات والحوائط . هذه الوحدات من شأنها تحقيق زيادة القدرة الإنشائية سواء فى الإنشاء الهيكلى أو الصندوقى أو القشرى مع الاقتصاد فى كميات الخرسانة والحديد المستعملة وعمالتها ، مع خفة فى الأوزان الناتجة. ومن المحقق أن سبق التجهيز بجانب دوره فى الإقلال من كميات الخرسانة المستعملة ، يؤدى إلى تحسين مستوى الإنتاج عن طريق التحكم بصورة أفضل فى عمليات الخلط والهز والرش بالمياه* . وتحويل الغالبية العظمى من العمالة إلى المصنع من شأنه أن يهيئ محيطاً أكثر تنظيماً بأجور أقل بصفة عامة** . ويعتبر توفير الوقت عن طريق إتمام عمليات سبق الصب داخل المصنع أو على الموقع عاملا هاماً من الناحية الاقتصادية نظراً لإمكانية القيام بعدة عمليات فى آن واحد أو على فترات متقاربة . فاختفاء الصلبات المعقدة من موقع العمل من شأنه أن يسمح لسائر العمال بالبدء فى تركيب معدات المبنى . وبينما يجرى صب الأساسات يمكن صب الأسقف السابقة التجهيز، وكذلك تبدأ أعمال التركيبات الصحية والكهربائية والميكانيكية فور إقامة الهيكل الإنشائى. كما أن عوامل الطقس التى كانت تستدعى اتخاذ وقاية خاصة أو ربما تعطل عمليات الصب فى الموقع لايكون لها أدنى تأثير فى إجراء الصب داخل المصنع . كذلك تتم معالجة الخرسانة بالبخار داخل المصنع مما يجعل تصلبها بصورة أسرع وأيسر مما لو تركت لتتصلب فى الجو العادى .

ومما لاشك فيه أن التطور المستقبل فى الإنشاء الخرسانى سوف يتجه بها نحو سبق التجهيز إلى أن يصبح هو الطريقة المتغلبة ويصبح الصب على الموقع هو النادر . ومما سيدفع التطور نحو هذا الاتجاه

* صب الحوائط أفقياً من شأنه تحقيق مستوى أعلى من الجودة مع إنهاء أفضل للأسطح .

** انظر الجدول الوارد بالفصل الخامس عن مقارنة الأجور وساعات العمل بين عمال الموقع والمصنع .

الاحتياجات المعمارية الملحة والسريعة للوحدات السكنية والمبانى الصناعية فى مختلف بلاد العالم. وقد نجح الاتحاد السوفييتى ودول أوربا الشرقية فى مجابهة الأزمة السكنية بالتركيز على اتجاه سبق التجهيز لعناصر كبيرة من حوائط وأسقف وسلالم لازمة لوحدات سكنية بلغ مجموع مسطحها فى الاتحاد السوفييتى ٣ ملايين متر مسطح عام ١٩٦٠ ، و ٢٥ مليون متر مسطح فى عام ١٩٦٥ . والاتحاد السوفييتى فى هذا المجال يحتل المركز الأول فى العالم [١٩]. والمصمم بالوحدات الجاهزة يهدف إلى استغلال الطريقة إلى أقصى حدودها بالنسبة لجميع أجزاء المبنى مع الإقلال من العمالة اللازمة على الموقع بقدر الإمكان. والدول المتقدمة ذات الإمكانيات الواسعة فى التصنيع الآلى وفى النقل من سيارات وخطوط حديدية توجه اهتمامها إلى تطوير سبق التجهيز الخرسانى فى إنشاء الوحدات السكنية ذات البحور الصغيرة المتكررة أفقيًّا ورأسيًّا. وفى هذا الاتجاه استخدمت وحدات جاهزة كبيرة نتج عنها وفر فى المواد والعمالة مع سرعة فى التنفيذ .

وقد أحرز سبق التجهيز تقدماً فى حل المشكلات الإسكانية فى أوربا الغربية وبدرجة أبعد فى أوربا الشرقية والاتحاد السوفييتى . كما أن محاولات سبق التجهيز قد حققت حلولا لمشكلات التغطية الخرسانية للبحور الواسعة لمبانى الصناعة والمواصلات والتجارة والعرض وغيرها . وسنعرض هنا للتجارب العالمية فى هذا المجال الإنشائى الحيوى .

سبق التجهيز للبحور الصغيرة المتكررة

الإنشاء الهيكلى

وهو يقوم على أساس تجميع أعمدة وكمرات جاهزة ، ثم تقفيل الفراغات بحوائط خارجية وداخلية غير حاملة . مزايا هذه الطريقة سرعة التنفيذ مع تخفيف الأحمال على الأساسات مع إمكانية استخدام سبق الإجهاد فى الكمرات ذاتها وفى وصلها بعضها ببعض . وتستعمل هذه الطريقة فى سبق التجهيز لهياكل المصانع وفى بعض المبانى المتعددة الطبقات ، وهى الطريقة الغالبة فى سبق التجهيز الأمريكى . وقد استعملت فى اليابان ، وبلغت جملة ما بنى بها عام ١٩٦٢ مليونى متر مسطح [٢٠] . مثل هذه الطريقة لم ينتشر استعمالها بسبب الشدوخ التى تنتج فى الوصلات نتيجة لعدم تماسك الهيكل مع الحشوات وبسبب تعدد هذه الوصلات .

وفى إنجلترا ظهرت طريقة ج — ٨٠ (G-80) (شكلى ٧٥ ، ٧٦) . وفيها تستعمل أعمدة على مسافات مترين أو ثلاثة أمتار بارتفاع طابق كامل وبتسليح بارز عن رأس العمود . ويدخل الحديد البارز فى فتحة بقاع عمود الدور العلوى ، وهذه الفتحة تملأ بخرسانة تصب على الموقع . والكمرات الجاهزة تحمل على الأعمدة من محور إلى آخر وتكون نهايتها تجويفاً يتخلله حديد الأعمدة ، ويصب هذا

التجويف على الموقع ليربط الكمرات بالأعمدة . والكمرات الخارجية بها تجاويف بجانبها الداخلى لتحميل بلاطات بعرض ثابت هو ٣ أقدام ، ٤ بوصات وبحور تتراوح بين ٦ أقدام و ٢٦ قدماً وثمانى بوصات ، وأسماك تتوقف على البحور وتتراوح بين ٤ بوصات و ١٠ بوصات . والبلاطات صندوقية بدون قاع ذات ثلاثة أضلاع طولية وضلعين عرضيين عند النهايتين . والحوائط الخارجية غير الحاملة تتم بحسب رغبة المعمارى . ومن أشهر استعمالات هذه الطريقة مبنى مكاتب شركة رولز رويز فى ديربى بإنجلترا حيث تم تجميع الهيكل والبلاطات لأربعة طوابق ، وكذلك تقفيل الحوائط الخارجية لدورين بين شهرى يونيو وأغسطس من عام ١٩٦١ (٢١) ومن الطرق الإنجليزية الأخرى طريقة انترجريد (Intergrid) وقد استعملت لمبان حتى ١٢ طابقاً . وهى تستعمل أعمدة مربعة ذات مقاسين ٦,٥ ، ٨ بوصات وذات بروزات مختلفة الحجم والشكل فى جوانبها لتثبيت القواطع الجانبية . والوصلات تتم عن طريق صب الخرسانة على هذه البروزات بين الأعمدة والقواطيع وبين الأعمدة من طابق إلى آخر عن طريق فتحات فى الأعمدة العليا (أشكال ٧٧ إلى ٧٩) . والأسقف محملة على شبكة الكمرات الخارجية والداخلية المصنوعة من خرسانة سابقة الصب والإجهاد . والكمرات الخارجية بعمق ١ قدم و ١,٥ بوصة والرئيسية بعمق ١ قدم ، ٢,٥ بوصة ، والثانوية على شكل حرف U بعمق ٦ بوصات . والبلاطات إما أن تصب على الموقع على شدات دائمة من ألواح الاسبستوس السيمنتى تعلق على ألواح خشبية مؤقتة مثبتة فى فتحات بالكمرات الرئيسية والثانوية ، أو تنفذ من وحدات سابقة الصب وترص على سطح الكمرات الرئيسية والثانوية ، ثم تصب الخرسانة لتحيط بالتسليح البارز من أحرف كل وحدة . وقد استعملت هذه الطريقة فى عديد من المدارس ومبانى المكاتب والمطاعم والمحال التجارية والمصانع بإنجلترا (٢٢) . كما تشاركها فى الإنشاء الهيكلى بعض من طرق لينجسبان (Laingspan) وهى تستعمل كمرات على هيئة جمالونات (٢٣) .

وفى فرنسا تستعمل طريقة بارتس (Barets) (٢٤) وحدات هيكلية حاملة مكونة من مجموعة من باكية إلى أربع باكيات من أعمدة وكمرات (شكلى ٨٠ ، ٨١) والباكية ذات معدل ١٠ أقدام . هذه الوحدات من خرسانة مسلحة سابقة الإجهاد . ويبرز من أعلى الكمرات وجوانب الأعمدة كانات لتثبيت الحوائط الجانبية كما يمتد التسليح أعلى وأسفل كل عمود لضمان استمرار الحامل الرأسى . وتحمل هذه المجموعات وحدات بلاطات مجوفة ذات أضلاع ترص فوق المجموعات الحاملة بحيث تترك فراغات لكمرات رئيسية وثانوية رابطة تصب على الموقع حول الكانات البارزة من مجموعات الهياكل الحاملة .

وطريقة ستراكتورابد (Structurapid) الإيطالية تستعمل وحدات جاهزة من أعمدة وكمرات ترتبط ببعضها بوصلات عن طريق ألسنة وتجاويف. والأعمدة المستخدمة مجوفة بسمك محيط قدره بوصتان ، وهى إما دائرية بقطر خارجى ١٢ بوصة وإما مربعة بطول ضلع ١٢ بوصة أو ٩ بوصات . هذه الأعمدة ذات تجاويف بقمتها لاستقبال نهايات الكمرات . وهذه تجهز على شكل حرف T بارتفاع ١٠ أو ١٤ بوصة، وضلعها الأفقى إما ١٨ أو ١٢ أو ١٤ بوصة ، ويبرز منه إلى أعلى كانات لإيصال الكمرات بالبلاطات الجاهزة التى ترتكز على الأحرف الأفقية البارزة للكمرات (شكلى ٨٢ ، ٨٣) . واحتمالات الارتفاع بهذا الإنشاء غير محدودة كما ، أثبتت التجارب العلمية إمكان إقامة هيكل إنشائى بمسطح ٤٧٠ متراً مسطحاً فى يوم واحد باستخدام عامل متخصص واحد وثلاثة عمال عاديين وسائق للونش [٢٥] .

٢) الإنشاء بالحوائط الحاملة

الاتجاه الثانى والغالب فى الإنشاء بالوحدات الجاهزة للبحور الصغيرة المتكررة هو الإنشاء الصندوقى باستخدام بانوهات من حوائط وأسقف حاملة . وهناك حلول مختلفة فى هذا الاتجاه :

الحل الأول : وهو يستعمل الحوائط العرضية العمودية على الواجهة كحوائط إنشائية حاملة . أما الحوائط الخارجية للواجهة ، وهى حاملة لنفسها ، فهذه تترك لتصرفات المعمارى . والبلاطات فى هذه الحالة تحملها الحوائط العرضية، وهى تتكون إما من بلاطات بطول وعرض الحجرات، وإما من بانوهات طولية ذات ضلوع وذات معدل ثابت تكون فى مجموعها أسقف الحجرات . ومن هذه الطرق طريقة أولسن وسكارنى وسوند(Ohlsson &Skarne & Sundh) السويدية؛ والبلاطات هنا على شكل بانوهات بالحجم الكامل للباكية . وعلى نفس المبدأ تتجه طريقة لارسون ونيلسن (Larson & Neilsen) فى الدنمارك(شكلى ٨٤، ٨٥) وطريقة بلمورا (Bollmorà) فى السويد وطريقة ڤام(Vam) ببولندا وطريقة لوجاتنكو(Lugatenko) بروسيا . وقد أمكن بهذه الطرق إنشاء عمارات من خمسة طوابق فى أقل من ثلاثين يوماً . وفى روسيا حددت المسافات بين الحوائط العمودية الحاملة بباكية، أى بحوالى ٣ أمتار أو باكيتين بطول حوالى ٦ أمتار (شكل ٨٦) . وفى الحالة الأخيرة تكون البلاطات من بانوهات مجوفة سابقة الإجهاد بطول ٦ أمتار ترتكز على طرفيها ، وقد أنشئت كذلك وحدات سكنية حوائطها الحاملة على ٣,٢٠ أمتار ، ٦,٤٠ أمتار [٢٦] . ومن مميزات هذا الحل إمكان التصرف المعمارى الحر فى الواجهة الخارجية كستارة غير حاملة ، وهذه يمكن عملها من الخرسانة الخفيفة أو من الخرسانة ذات الخلايا حتى تكون عازلة للبرودة فى البلاد الشماليـــة .

وفى أوربا الشرقية تطورت هذه الطريقة لتتخذ شكلا جماعيا مخططاً . وقد تقدمت الطريقة فى ألمانيا الشرقية لبناء وحدات سكنية موحدة متكررة . وتتكون كل وحدة إنتاج من مصنع خرسانى وشريط حديدى للنقل من المصنع إلى الموقع . والموقع نفسه كامل بالخطوط الحديدية لنقل الوحدات ونش بارتفاع ٤٠ متراً للتجميع . والمنتجات تصنف من تسعة أنواع من الحوائط الخارجية من الخرسانة الخفيفة والمهيئة بالفتحات وجلسات الشبابيك ومواسير الكهرباء والصرف والتدفئة ، والمنهية خارجياً بمونة الأسمنت الملون أو السيراميك وداخلياً بالبياض ، ومن أحد عشر نوعاً من الحوائط الداخلية الحاملة المصنوعة من الخرسانة الثقيلة بسمك ٦ أو ٤ بوصات ، ذات أسطح ناعمة لاتحتاج إلى بياض ، ومن تسعة أنواع مختلفة من الأرضيات « والبسطات » من خرسانة مسلحة ثقيلة سمكها ٥,٥ بوصة .

والحل الثانى : يستخدم منشأً مكوناً من حوائط طولية وعرضية حاملة للأسقف ، ويكون كل بانوه حجرة كامـلة والحوائط الخارجية قد تكون مزدوجة من طبقتين بينهما فراغ أو طبقة عازلة ، أو من طبقتين الخارجية عازلة من خرسانة مسامية تتبعها طبقة خرسانة ثقيلة حاملة ، كما فى طريقة ميشك (Mischek) [٢٧] المستعملة فى النمسا وفى كثير من المدن الألمانية (شكلى ٨٧ ، ٨٨) . وفى هذه الطريقة تهيأ الحوائط — بخلاف الخرسانة — بطبقتين من الداخل والخارج من البياض بسمك ¾ بوصة . والحوائط الداخلية الحاملة تكون مصمتة من الخرسانة المسلحة . وتترك بين البانوهات الرأسية فراغات تخترقهـا أسياخ حديدية من طابق لآخر وتملأ بالخرسانة المصبوبة على الموقع لوصلها بعضها ببعض . كما تمتد فوق الحوائط الخارجية كمرة مسلحة أفقية مصبوبة على الموقع لوصل الحوائط والروابط الرأسية والأعمدة بعضها ببعض . والبلاطات غالباً ما تكون صندوقية بدون قاع وبأضلع طولية وعرضية ، أو صندوقية كاملة ترتكز على الطبقة الداخلية للحوائط الخارجية وعلى الحوائط الداخلية . ومن أشهر الطرق التى تسير على هذا النمط أو على تنوعات منه طريقة بسون وريما (Bison & Reema) فى إنجلترا وكوفيه (Cauvet) (شكل ٨٩) ، وباريتز وكوانيه وكامو (Camus) وتراكوبا (Tracoba) فى فرنسا . ويشرح شكلا (٩٠ ، ٩١) طريقة استيوت (Estiot) الفرنسية على اعتبار كونها نموذجاً لهذا الاتجاه فى الإنشاء .

والحل الثالث يستخدم حوائط طولية حاملة وهى حوائط الواجهة وحوائط موازية لها . والبانوهات سابقة الصب بمقاس الحجرة من خرسانة خفيفة ، والأسقف مصنوعة من وحدات مجوفة سابقة الإجهاد ترتكز على الحوائط الحاملة . مثل هذا الحل قد استعمل فى الاتحاد السوفييتى (شكل ٩٢) .

والحل الرابع يجمع بين الإنشاء الهيكلى فى الداخل والحوائط الحاملة الخارجية — وهو يستخدم كمرات عرضية ترتكز على الأعمدة الداخلية وعلى الحائط الخارجى . وقد ظهر هذا التكوين فى روسيا بمسافة ٣ أمتار بين الكمرات العرضية . والحوائط الخارجية رفيعة ذات أعصاب ومعزولة بخرسانة مسامية . وحسب القوانين المحلية يمكن استعمال خرسانة خفيفة الوزن . والبلاطات تجمع من بلاطات سمك ٨ إلى ١٠ سم ترتكز على الكمرات العرضية . والأعمدة هنا توضع على المحور الداخلى الطولى للمبنى والقواطيع الداخلية من خرسانة المصيص (شكل ٩٣) .

وهناك حل خامس بالحوائط الحاملة يتبع فى روسيا وينتج عنه أخف أنواع المبانى ، إذ أنها تزن حوالى ١٠٠٠ كجم للمتر المسطح من الفراغ المستعمل ، وهو يستخدم بانوهات رفيعة بطول الباكيات مقواة بأضلع على جوانبها . ويمكن الوصول إلى العزل الصوتى بين الحوائط الفاصلة الداخلية بتهيئة بلاطات وقواطع منفصلة . وبلاطات الأسقف ترتكز على حوائط عرضية محيطها مقوى بأضلع خارجية . وبجانب مقاومتها لعزوم الانحناء تقوم القواطيع بنقل الأحمال خلال الأضلع الرأسية فى نهايتها إلى الأساسات (شكل ٩٤) .

الإنشاء الصندوقى

الاتجاه الثالث فى سبق التجهيز للباكيات الصغيرة المتكررة يتجه نحو صب مجموعات من حوائط وأسقف متماسكة فى المصنع ونقلها كاملة بما يصاحبها من تشطيبات ومهمات جاهزة للتجميع . هذا الاتجاه يقلل الوصلات التى يجب إتمامها على الموقع رغم ما يتطلبه من وسائل رفع ونقل متقدمة . وتتفاوت الحلول المستعملة فى هـــذا الاتجاه بتفاوت إمكانيات النقل والتجميع ، ففى طريقة ترسكون (Truscon) الإنجليزية مثلا تصل إلى الموقع عشر قطع صندوقية جاهزة (شكلى ٩٥ ، ٩٦) ذات حوائط خرسانة سمك ١ بوصة وضلوع كل ٢٠ سم بسمك إجمالى قدره $3\frac{3}{4}$ بوصة . والوحدات يُربط بعضها بعضاً بواسطة ألواح وصل ومسامير قلاووظ مع ملء الفراغات بين الصفوف المتجاورة بخرسانة مسلحة مصبوبة على الموقع بسمك ٧٫٥ بوصات تعمل كحائط عازل بين الشقق المختلفة . وقد دلت التجارب على أن إقامة منشأ مبنى من أربعة طوابق يحتوى على ١٦ وحدة سكنية يستغرق عشرة أيام كما يستغرق أربعة أسابيع لإنهائه كاملا من مستوى الأساس إلى انتقال السكان إليه ، وذلك باستخدام ١٧ عاملا [٢٨] .

وقد ذهبت التجارب الروسية إلى حلول أبعد من ذلك وهى التصنيع الكامل لوحدات صندوقية متماسكة لغرفة أو غرفتين متقابلتين . وقد انتشرت هذه الطريقة حيث إنها تمكن من سرعة الإنشاء ،

ولما يصاحبها من توفير فى حديد التسليح والعمالة على الموقع . ومن عيوبها ثقل وزن الوحدات (١٣ طن) الذى يتطلب أوناشاً كبيرة وأساسات ضخمة حيث يتحتم أن تكون حوائطها صلبة وعازلة للصوت بجانب كونها حاملة . هذه الطريقة تتم فى المصنع بتجميع بانوهات خرسانية ولحام الأسياخ البارزة وصب خرسانة اللحام ، وغالباً ما يترك الصب فجوات علاوة على صعوبة النقل والتصنيع .

وقد تطورت الطريقة لحل أبسط وهو استخدام وحدات من ثلاثة أجزاء فقط أولها صندوق مقلوب لمصبوب قطعة واحدة للسقف والحوائط الجانبية والواجهات وجزأين للأرضيات من إنشاء مضلع خفيف . وسمك الحوائط الجانبية والسقف $\frac{1}{8}$١ بوصة (شكلى ٩٧ ، ٩٨) . وسقف كل وحدة مزود بأربعة ضلوع طولية مهيأة بحيث ترتكز عليها بدقة ضلوع بلاطات الصندوق الأعلى . والوحدات هنا مكونة من ثلاث مجموعات فقط : مجموعة من حجرتين ومجموعة من حجرة وحمام ومطبخ ، ومجموعة من سلم وحمام ومطبخ ، والطابق عبارة عن ثلاث وحدات سكنية يخدمها سلم واحد .

وقد استنبطت طريقة أخرى للوصول إلى أوزان أخف بأقصى حمولة ٥ أطنان من وحدات صندوقية من سقف وحوائط مستمرة متماسكة من لوحة واحدة من الاسبستوس السيمنتى ذات أركان مقوسة بنصف قطر قدم واحد وسقف منحن (شكلى ٩٩ ، ١٠٠) . والسطح الداخلى الأسبستوس ناعم ولا يحتاج إلا إلى البويات . والقاعدة من الخرسانة المسلحة سمكها بوصتان ونصف بوصة وذات أضلع على أطرافها سمك ١٠ بوصات ، ومتصل بها أربعة أعمدة ركنية سابقة الإجهاد . والحائط الخارجى مزدوج من طبقة خارجية من الخرسانة المسلحة وطبقة من العازل الحرارى فيبروليت (Fibrolite) ، وهى تصنع فى المصنع وتلحم أسياخها بأسياخ الأعمدة الخارجية للصندوق . ويتم ربط الوحدات الصندوقية بعضها ببعض وذلك بصب خرسانة فى الفراغ المتروك بين الأعمدة الركنية للوحدات المتجاورة وحول الأسياخ البارزة من كل عمود ركنى . وقد صممت الوحدات لتمتد إلى خمسة طوابق ، إلا أنه فى الإمكان زيادة الارتفاع إلى ثمانية طوابق مع زيادة قطاع الأعمدة فى الطوابق السفلى . وقد أمكن الانتهاء من تجميع مجموعتين سكنيتين بهما ١٣٦ وحدة سكنية كل أسبوعين . ومن الممكن لفرقة إنتاج واحدة تجميع حوالى ١٠٠,٠٠٠ متر مكعب من المساكن كل عام[٢٩] .

مثل هذه الطرق ومشتقاتها حققت لروسيا بناء ٣ ملايين ونصف مليون وحدة سكنية فى العام لمجابهة احتياجاتها السكنية المتصاعدة .

سبق التجهيز للبحور الكبيرة :

فى تغطية البحور الكبيرة يتجه المصمم فى أغلب الأحوال إلى استعمال الأسقف المنحنية ، سواء أكانت مفردة أم مزدوجة الانحناء ، إلا إذا اضطرته ظروف انتفاعية إلى استعمال الأسقف المستوية . وهو لتحقيق رغبته فى سبق تجهيز مثل هذه الأسقف تقابله صعوبات تصميمية وإنشائية عامة بالنسبة لسبق التجهيز وخاصة بالنسبة لطبيعة البحور التى يريد تغطيتها . من هذه الصعوبات مشكلتان هامتان متداخلتان ومتناقضتان ، هما : مشكلة نقل وحدات إنشائية كبيرة وثقيلة ، ومشكلة وصل الوحدات فى مجموعة متماسكة ذات بحور كبيرة . وعلى أساس الحلول التى نختارها لحل هاتين المشكلتين والإمكانيات المتاحة يتوقف الشكل النهائى للإنشاء .

ومشكلة النقل تتعلق بوزن الوحدات وأطوالها والمسافة التى تقطعها هذه الوحدات من المصنع إلى الموقع . ومن الواضح أن العلاج المباشر لهذه المشكلة يتم فى اتجاهين هامين : الأول بإنقاص الوزن بدون إنقاص لحجم الوحدة ، وذلك عن طريق وسائل سيتم شرحها فيما بعد . وهذا سيبقى مشكلات النقل لوحدات خفيفة بأبعاد طويلة خلال طرق حضرية وقروية . وقد يتم تصغير الوزن عن طريق تصغير الأبعاد ، وهذا من شأنه أن يضخم المشكلة الثانية ، وهى عمل الوصلات بين الوحدات . أما الاتجاه الثانى فهدفه إلغاء النقل كلية عن طريق سبق التجهيز على الموقع ، وتبقى مشكلات الرفع والتثبيت . ومن الطبيعى أن هـــذا الاتجاه يحل مشكلات النقل والمواصلات ، ولكنه يحرم سبق التجهيز من مميزات التصنيع والإشراف الآلى .

ونحو الاتجاه الأول لحل مشكلات النقل عن طريق إنقاص وزن الوحدة بدون إنقاص حجمها قد يجمع المصمم بين سبق التجهيز وسبق الإجهاد[٣٠] . ومن أمثلة ذلك كمرات سابقة التجهيز يبلغ طولها ٢٦ مترًا تم إنتاجها فى السويد بوزن قدره ١٣ طنًا ، وذلك باستعمال سبق الإجهاد[٣١] .

وتصميم الكمرات ذات البحور الواسعة على هيئة جمالونات يعتبر حلا لتخفيف وزن العناصر السابقة التجهيز . وصب الجمالونات الخرسانية يتم فى المصنع ثم تحمل على سيارة نقل إلى الموقع حيث يتم تجميعها . وقد استخدمت فى إنجلترا جمالونات ذات وصلات من طراز راسل (Russel Joint) وفيها تستعمل ألواح توصيل ومسامير قلاووظ كوسيلة لتجميع شتى وحدات الجمالون سابقة التجهيز[٣٢] . كما استعمل المهندس الإيطالى بيير لويجى نيرفى (Pier Luigi Nervi) كمرات جمالونية تبلغ مقاساتها ٣ × ١ متر فى أسقف ست حظائر للطائرات فى إيطاليا ما بين سنة ١٩٤٠ و ١٩٤١ (شكلى ١٠١ ، ١٠٢). وتتقابل كل أربعة جمالونات فى نقطة واحـــدة حيث يتم لحـــام أسياخ تسليحها بالكهرباء

(شكل ١٠٣) . ويكون الهيكل بأكمله سقفاً محدباً من نوع اللاميلا (Lamella) . وفى أمثلة أخرى اجتمعت مميزات الإنشاء الجمالونى مع استعمال خرسانة سابقة الإجهاد لتحقيق المتانة وخفة الوزن . وقد استخدمت جمالونات سابقة التجهيز والإجهاد فى بناء كلية هاتفيلد الفنية (Hatfield Technical College) بإنجلترا وفى مصنع شركة كولودنس (Colodense, Ltd) بمقاطعة بريستون بإنجلترا . كما استعملت نفس الطريقة فى ألمانيا خلال الحرب العالمية الثانية لإنتاج جمالونات سابقة التجهيز للمصانع بطول ٣٣,٥ متراً[٣٣] .

وفى الولايات المتحدة تم إنشاء سقف معمل البحوث الطبى ببنسلفانيا بولاية فيلاديلفيا باستعمال كمرات رئيسية وثانوية عبارة عن جمالون فيرنديل (Vierendeel) ذى بحر ١٥ متراً لتكسية وحدات معامل مربعة ضلعها بنفس طول الكمرات الرئيسية (شكل ١٠٤) . والكمرات الرئيسية ترتكز على أعمدة خارجية على هيئة حرف H وتحمل كمرات ثانوية على هيئة جمالون . وقد سمح مثل هذا التكوين للكمرات الرئيسية والفرعية بإمكانية المرور الأفقى لشبكة المواسير المعقدة . وقد ساعد على خفة وزن هذه الكمرات الرئيسية استعمال الإجهاد السابق فى إنشائها . كما استخدم الإجهاد اللاحق للكمرات الفرعية ، ويعتبر هذا المبنى ذو الطوابق الثمانية من أعلى المبانى الخرسانية السابقة التجهيز فى أمريكا . ولضمان اتصال أعمدة كل طابق بالأسقف والأعمدة التالية روعى امتداد أسياخ داخل فراغات فيها وداخل الكمرات الخارجية والكمرات الرئيسية إلى فراغات الأعمدة التالية ، وعرضت الأسياخ لقوة شد لاحق قدرها ٩٠ طناً لربط الجميع فى مجموعة واحدة (شكل ١٠٥) .

ونحو تصغير حجم الوحدات وبالتالى تصغير وزنها قسم نيرفى السقف الأسطوانى للصالة الرئيسية (بحرها ١٠٠ متر) فى مبنى معرض تورين عام ١٩٤٨ إلى وحدات صغيرة (طول الواحدة ٤,٥م) (شكلى ١٠٦ ، ١٠٧) . وقد ساعد على تقوية الوحدة الشكل الخاص الذى نفذت به وهو شكل القطع المكافئ . وقد تمكن نيرفى من تنفيذها بالأسمنت المسلح (Ferro-Cemento) بسمك ٤ سم (شكل ١٠٨) مما ساعد على تخفيف وزن العناصر الإنشائية إلى درجة كبيرة مع الاحتفاظ بمتانتها (شكل ٣٨) . واستعمال هذه المادة لايتطلب إلا شدات خارجية تكرر استعمالها لصب الوحدات المنتجة (أشكال من ١٠٩ إلى ١١١) . وفى حالات أخرى استعمل نيرفى هذه الوحدات مع تغطيتها ببلاطات خرسانية رفيعة (شكل ١١٢) . وقد استغلت التجاويف فى هذه البلاطات المنتجة التى تشبه القنوات كمرات

للهواء الساخن فى حمام سباحة الكلية البحرية بمدينة بلجهورن* عام ١٩٤٣ .

والاتجاه الثانى لحل مشكلات نقل الوحدات الجاهزة عن طريق سبق التجهيز على الموقع يزيد حرية المصمم فى تشكيل وحداته الجاهزة ، وبالتالى فى التصرف فى الشكل العام للسقف مع إمكانية تكبير الوحدات المصنعة ، وما يتبع ذلك من قلة الوصلات . وقد تم فى الولايات المتحدة عام ١٩٦٥ سبق تجهيز سقف قشرى دائرى بقطر ٩٠ متراً لمسرح وجمنازيوم بجامعة فرجينيا مكون من ٢٥٦ قطعة قشرية مزدوجة الانحناء صبت على الموقع ورفعت لترتكز على أعصاب سابقة الصب على شكل قبة توازنها حلقة ضغط مركزية وشد محيطية لاحقة الإجهاد . وكل شريحة من القبة مكونة من ثمانى قطع يتراوح بحرها من ٤ أقدام عند المركز إلى ٢٧ قدما و ١٠ بوصات عند المحيط (شكل ١١٣) .

وفى أوربا اشتهر المهندس الفرنسى الشهير برنار لافاى (Bernard Lafaille)، وهو من أوائل مستعملى سبق التجهيز ، باستغلال الصب على الموقع لوحدات جاهزة كبيرة الحجم خفيفة الوزن بسبب شكلها الخاص (V) . وقد استعملت هذه الوحدات التى وصلت أطوالها فى بعض الأحوال إلى ١٥ متراً فى بناء حوائط حظيرة طائرات فى بانسيڤو (Pancevo) بيوغوسلافيا عام ١٩٣٦ (شكل ١١٤) ، وفى كنيسة نوتردام دى رويان (Notre Dame de Royan) عام ١٩٥٤ — ١٩٥٨ مع المعمارى ج. جيليه (G. Gillet) . وقد استعمل الوحدة فيما بعد فى عدة مبان وخاصة فى محطات للسكك الحديدية .

ويسمح سبق التجهيز فى موقع العمل بإنتاج وحدات أكبر حجماً ، وبالتالى وصلات أقل عدداً . ومع ذلك فإنه يخلق صعوبات عديدة عند رفع أو إمالة الوحدات ، الأمر الذى أصبح ميسوراً بالمعدات الحديثة . وفى ميدان العمارة يتزايد استعمال الكمرات والهياكل والحوائط والبلاطات المسطحة أو المنحنية التى يتم صبها على أرض الموقع ثم ترفع أو تقام فى مكانها النهائى . وفى أغلب الحالات يمكن صب تلك الوحدات فوق بعضها باستعمال أقل مسطح من الشدات أو بدون شدات إطلاقاً . وقد أدت طريقة البلاطات المرفوعة (Youtz Slick Lift - Slab) التى استحدثت فى الولايات المتحدة إلى إمكان صب عدة أسقف كاملة ذات بوائك عريضة إحداها فوق الأخرى ، ثم يرفع كل سقف منها دفعة واحدة إلى

---

* من منشآت نيرڤى الأخرى التى قامت على هذا النظام مبنى معرض ميلانو عام ١٩٥٣ ، وجناح بيت الاستحمام لمدينة شيانسيانو (Chianciano) إيطاليا سنة ٥٢ — ١٩٥٣ ومبنى الجمعية العمومية لهيئة اليونسكو بباريس عام ١٩٥٦ وقصور الرياضة الدائرية بروما عام ١٩٦٠ ، وللرجوع إلى تفاصيل أكثر عن أعمال نيرڤى انظر كتاب

P.L. Nervi, Strucrures, (New york. F.W. Dodge, 1956)

منسوبه النهائى فى المبنى . وفى أمريكا تستعمل فى أغلب الأحوال أعمدة حديدية ، وفى إنجلترا * استعملت أعمدة خرسانية بدلا من الحديدية ، وهذه إما أن تصب على الموقع وإما أن تركب جاهزة . وتدمج فى البلاطات عند صبها فلنشات (Collars) ، وهذه تستعمل كدليل للبلاطة أثناء ارتفاعها على الأعمدة كما تهيأ الفلنشات بأمكنة لتثبيت نهايات أحبال الرفع (شكلى ١١٥ ، ١١٦) . ويستعمل الشمع أو الراتنجات أو طبقة من البوليثين (Polythene) كأوساط عازلة بين البلاطات المصبوبة فوق بعضها وميزة طبقة البوليثين سرعة صب البلاطة تلو الأخرى ، إلا أنها تسبب تموجات صغيرة فى أسفل البلاطات مما يتطلب بياضها . وتوضع الروافع على رءوس الأعمدة ، وقد أصبح فى الإمكان التشغيل الأوتوماتيكى لعدد ٤٠ رافعة بحيث تعمل كلها فى توافق وبحيث ترتفع البلاطات أفقية تماماً . وفى حالة كبر حجم البلاطة يمكن تقسيمها إلى أجزاء لسهولة التحكم فى الرفع . ومن الممكن رفع أحمال حتى ٢٥٠٠ طن باستعمال طريقة البلاطة المرفوعة . ومن المنتظر إمكان رفع البلاطات بمسطح حوالى ١٢٠٠ متر مسطح باستعمال الأنواع المستحدثة من الروافع ، كما أنه فى الإمكان تحميل الوصلة بين العمود والبلاطة إلى حدود ٦٥ طناً . ومن مميزات هذه الطريقة سهولة صب البلاطات الواحدة فوق الأخرى على مستوى الأرض دون حاجة إلى إقامة أو فك أو تنظيف شدات بحيث يتتابع الصب كل يومين وتثبت البلاطات فى مواضعها النهائية بطريقة أدق مما لو صبت على موقعها . والعمل يتم على مستوى الأرض بطريقة آمنة ومستمرة حتى فى المناطق الباردة حيث يمكن عزل الموقع كله حول البلاطات بغطاء تار باولين (Tarpaulin) . ومن الممكن وضع التشطيبات النهائية على البلاطة من مواد عازلة للصوت والحرارة ، وكذلك تثبيت الوصلات الكهربائية والأدوات الصحية قبل رفعها إلى وضعها النهائى . كما أن عملية الرفع تتم فى هدوء مما يخفف الضوضاء التى تصاحب عملية الإنشاء العادى . وقد ظهرت أول تطبيقات هذه الطريقة فى الولايات المتحدة فى مبانى الإدارة وعنابر النوم ذات الطابقين بجامعة ترينتى (Trinity) فى سانت أنتونيو بولاية تكساس . وفى إنجلترا أنشأت الشركة صاحبة الترخيص ما يزيد على ١٠٠,٠٠٠ متر مسطح من المبانى المتعددة الطوابق بين عامى ١٩٥٩ و ١٩٦٢ . ومن أهم مبانيها الجراج ذو الطبقات التسعة فى لونج بردج (Longbridge) ببرمنجهام ، وهو يسع ٣٣٠٠ سيارة ويقال إنه أكبر جراج من نوعه فى العالم[٣٤] .

---

* أخذ ترخيص إنجليزى فى برمنجهام عام ١٩٥٩ .

وقد تطور هذا النوع من الإنشاء فاستعملت الخرسانة الخفيفة * والبلاطات ذات الضلوع (Waffle Slabs) ** وتم الجمع بين سبق الإجهاد والبلاطات ذات الضلوع المتقاطعة *** ، والهدف من ذلك الوصول إلى بلاطة أخف وأقوى وأسهل فى الرفع . ولم يعد رفع البلاطات مقصوراً على المبانى المستطيلة ، فقد أمكن رفع صدفة قشرية — وهى من أكبر أنواعها فى العالم — على هيئة قبة بقطر حوالى ٨٥ متراً ، وذلك لسقف مسرح وارنر (٧٢٠٠ كرسى) فى مدينة أندرسون (Anderson) بولاية إنديانا ومسطحها حوالى ٥٥٠٠ متر مربع . وقد صبت القبة على قالب من الطمى الممزوج بالزلط و بسطح علوى من الزلط والرمل . وقد رفعت القبة على أربعين عموداً من الصلب من فلنشات حديدية مدفونة فى الكمرة المحيطة . وقد وضع التسليح فى هذه الكمرة داخل قمصان لتسهيل الإجهاد اللاحق لها . وتم الرفع بواسطة أربعين رافعاً طاقة كل منها ٣٥ طنًّا ، وهذه تعمل من لوحة توزيع واحدة . وقد تم الرفع فى خمسة أيام . هذا ولم يعد رفع البلاطات مقصوراً على الأشكال المتماثلة ، بل أمكن رفع سقف على شكل مروحة لمعبد إسحق (Isaiak Temple) بلوس أنجليس (شكلى ١١٧ ، ١١٨) . كما أصبح فى الإمكان رفع بلاطات مائلة كما فى جراج برمنجهام حيث كان ميل البلاطات ١ : ٣٦ .

وقد اتبعت طريقة أخرى باسم جاك بلوك (Jackblock) عام ١٩٦٢ لصب مبنى خرسانى ذى ١٧ طابقاً بدون استعمال شدات وذلك فى مدينة كوفنترى (Coventry) بإنجلترا (شكلى ١١٩ ، ١٢٠) . وفى هذه الطريقة يصب سقف الدور العلوى الأخير على مستوى الأرض ثم يرفع وتثبت الحوائط الخارجية والداخلية وتنهى أعمال التشطيبات للدور الأخير . ثم تصب أرضيته على مستوى الأرض ، ويرفع الطابق كاملا إلى أعلى ليتم إنهاء الطابق قبل الأخير ، وهكذا . وعملية الرفع تتم بواسطة روافع تحت قلب إنشائى صندوقى يحتوى على الخدمات والمصاعد والسلالم . والبلاطات تبرز من هذا القالب على الأربعة جوانب محملة على أربع كمرات خرسانية سابقة الإجهاد . وميزة هذه الطريقة بجانب توفير الشدات إتمام الأعمال الإنشائية وغيرها على مستوى الأرض ، بدلا من إتمامها على ارتفاعات شاهقة (أشكال من ١٢١ إلى ١٢٥) .

وسبق التجهيز على الأرض لأسقف قشرية رفيعة كاملة قبل رفعها إلى أماكنها فى المبنى يحقق وفراً

---

* فى الغرفة التجارية فى مدينة كوربس كرستى (Corpus Christi) بتكساس .

** فى مصنع مكنات فى مدينة كليفلند بولاية أوهايو [٣٥] .

*** فى مبنى المعامل فى معهد أبحاث جنوب الغرب (South West) فى مدينة سانت أنطونيو بولاية تكساس [٣٦] .

كبيراً في الشدات مع خفة في وزن الوحدات المرفوعة ، بحيث يمكن رفع سقف قشري كامل باستخدام أوناش صغيرة . وقد استعملت اثنتا عشرة وحدة قشرية انتقالية مزدوجة الانحناء، تتكون من انتقال قوس دائري بحره ٨ م وارتفاع أعلى نقطة فيه عن طرفيه متر على محيط قوس مماثل له وعمودي عليه ، لتغطية بوائك مربعة طول ضلعها ٨ أمتار في السوق المجمعة لمدينة نيوكانن (New Canaan) بولاية كنكتيكت (شكلي ١٢٦ ، ١٢٧) . ويمكن بسهولة استعمال هذا النظام الذي صممه المعماريون فكتور كرايست — چانر (Victor christ-Janer) وشركاهم وبإشراف الإنشائيين بول وايدلنجر (Paul Weidlinger) وماريو سالڤادوري (Mario Salvadori) لإنشاء صدفات تتراوح بحورها ما بين ١٠ و١٣ متراً .

وقد ابتكر المهندسان سولانو وأورتيجا (Solano & Ortega) صدفات أسطوانية سابقة التجهيز تستخدم على نطاق واسع لأغراض معمارية مختلفة في كولومبيا بأمريكا الجنوبية. والصدفات أسطوانية ذات استدارة داخلية وخارجية بنفس نصف القطر . ويمكن صب من ٣٠ إلى ٤٠ صدفة منها الواحدة فوق الأخرى (شكل ١٢٨) . ويسمح تجفيف الخرسانة بطريقة تفريغ الهواء بصب ثمانية أسقف يومياً (شكل ١٢٩) . وقد استخدم المهندسان في رفع البلاطات طريقة تعتمد على تفريغ الهواء ابتكرها مهندس أمريكي يدعى كارل بلنر (Karl P. Billner) وسجلها باسمه . وقد رفعا بهذه الطريقة أسقفاً من صدفات أسطوانية يبلغ طول الواحدة ١٣ متراً وسمكها ٤سم وذلك في بناء ٦٠٠ منزل اقتصادي في بوجوتا ما بين عامي ١٩٥١ و ١٩٥٤ (شكل ١٣٠). كما استخدمها المعماري فرانسسكو بيزانو (Francisco Pizano) فيما بعد لإنشاء مصنع كلارك (Clark's Chicle) في بوجوتا سنة ١٩٥٢ (الأشكال من ١٣١ إلى ١٣٤)، وكذلك استخدمها أورتيجا في إنشاء مصنع للبلوكات الخرسانية في بوجوتا سنة ١٩٥٤ .

الوصلات بين الوحدات الجاهزة

يعتبر الاستمرار المادي بين الوحدات الإنشائية ميزة هامة أساسية للمنشآت الخرسانية المسلحة المصبوبة على الموقع . هذا الاستمرار المادي لا يتحقق بالكامل في الإنشاء بالوحدات الجاهزة حيث تتصل وحدة بأخرى عن طريق وصلات تتم في أوضاعها النهائية بعد فترة زمنية من عملية الصب السابق للوحدات ذاتها، وهنا تتم الوصلات جافة (Dry Joints) بلحام نهايات من الصاج أو بمسامير قلاووظ لتثبيت الكمرات والتطريحات والحوائط كل في مكانها، أو تتم وصلات سائلة (Wet Joints) بصب خرسانات حول أسياخ ممتدة من وحدة لأخرى وفي مكان مفرغ خصيصاً لهذه الوصلات . كما يمكن أن تتم بالجمع بين اللحام للأسياخ الحديدية والخرسانة المصبوبة حول الأسياخ .

ويعتبر تكوين الوصلات بين الوحدات السابقة الصب من أهم التفصيلات التى يتوقف عليها نجاح الإنشاء ومظهره العام . ومن الأمور الواجب مراعاتها إمكانية تحمل الوصلة للأحمال المتوقعة المتكررة والإجهادات الخاصة التى تتعرض لها ، ومدى احتمالها لظروف الجو والحريق، ومدى إمكانية تنفيذها ، ونوع المواد المستعملة وتكاليفها ، وكذلك مظهرها الخارجى .

ونوع الإجهادات التى تتعرض لها الوصلة هو الذى يتحكم فى تحديد شكلها . هذه الإجهادات قد تكون نتيجة للانضغاط أو الشد أو القص أو عزوم الانحناء، أو الالتواء . ومن المحتمل تعرضها لكل هذه الإجهادات مجتمعة ، والأشكال من ١٣٥ إلى ١٣٨ تبين حلولا مختلفة لأنواع الوصلات المذكورة.

والوصلات التى تواجه المصمم بالوحدات السابقة الصب هى وصلات الأعمدة بالأساس ، وهذه يمكن حلها لمختلف حالات التحميل البسيط كما فى (شكل ١٣٩) والتحميل نتيجة لعزم انحناء بسيط ولعزم انحناء كبير . أما وصلات الكمرات بالأعمدة فهى كما فى (شكل ١٤٠) للأعمدة المنتهية . ولوصلة الكمرة بالأعمدة المستمرة باستعمال الإجهاد اللاحق ، والحل الأخير يصلح لكمرات ذات بحر يصل إلى ٢٠ أو ٢٥ متراً . وباستعمال كمرات وأعمدة مجوفة يمكن اتباع طريقة سيمنستون التى اتبعت فى تجميع وحدات مخزن للبحرية الأمريكية بمدينة ميكانيكس برج (Mechanicsburg) بولاية بنسلفانيا (شكل ١٤١) . أما وصلات الإنشاء بالحوائط الحاملة الجاهزة فتتم فى أغلب حالاتها عن طريق صب خرسانات فى فراغات رأسية بين بانوهات الحوائط وأفقية لربط الحوائط والأسقف بعضها ببعض ، والخرسانة تصب حول أسياخ حديدية بارزة من الوحدات داخل هذه الفراغات (شكلى ٩٠، ٩١).

وفى بناء الهياكل السابقة الصب يمكن اختيار الوصلات فى المواضع التى يوجد فيها أقل انحناء ، وحينئذ تختصر الإجهادات بالوصلة إلى إجهادات شد أو انضغاط . وقد استعملت هذه الطريقة فى مخزن البحرية الأمريكية السابق الإشارة إليه بولاية بنسلفانيا حيث استخدمت فى الإنشاء أعمدة وكمرات صندوقية صبت وصلاتها على الموقع (شكل ١٤٢) . وقد أمكن تلافى التعقيدات باختيار الوصلات فى مناطق أقل الجهود . ولضمان الاستمرار المادى الجزئى فى الهياكل الإنشائية المستمرة يمكن عمل ركوب كاف لأسياخ التسليح البارزة ثم تصب الخرسانة المحيطة (شكل ١٤٣) أو تلحم الأسياخ كهربائياً قبل صب الوصلات . وقد أجريت عدة تجارب على هذه الطريقة فى معمل المعهد الفنى (Polytechnical School) بميلانو وثبتت صلاحيتها . والحرب العالمية الثانية كانت مجالا للاختبار الواقعى

لمثل هذه الوصلات عندما نسفت أسقف حظائر الطائرات الإيطالية السابقة التجهيز التى نفذها نيرفى مستخدماً اللحام الكهربى ، فسقطت على الأرض وهى متماسكة كقفص حديدى جبار . مثل هذه الوصلات التى تتم على الموقع تتحمل إجهادات الضغط بكفاية تامة ، ولكنها لاتتحمل إجهادات الشد .

ويمكن تجميع الوحدات السابقة التجهيز لتكوين عناصر إنشائية أكبر عن طريق الإجهاد اللاحق بواسطة كابلات من الصلب (Post-tensioned). وقد استخدم المهندس الفرنسى فريسينيه (E. Freyssinet) هذا النظام فى إنشاء عدة «كبارى» على نهر المارن بفرنسا بدون أى صلبات . كما أجرى المهندس ل . كوف (L. coff) عدة تجارب فى الولايات المتحدة عام ١٩٥٣ على إنشاء البلاطات باستخدام قوالب خرسانية مفرغة تربط بينها كابلات لاحقة الإجهاد . وقد شجعه نجاح هذه التجارب على اقتراح تلك الطريقة لإنشاء مبنى متعدد الطوابق بدون شدات (شكل ١٤٤) .

كما توصل مهندسان من أرجواى هما لويس موندينو وليونيل ڤييرا (Louis A. Mondino & Leonel Viera) إلى تجميع بلاطات خرسانية سابقة التجهيز سابقة الإجهاد بسمك ٥سم بتعليقها على أسلاك معلقة من حلقة دائرية. وقد تمكنا بمساعدة شركة بريلود Preload من نيويورك من بناء سقف حلبة فى مونتڤيديو يبلغ قطرها ١٠٠ متر باستخدام ٩٠٠٠ بلاطة خرسانية على شكل شبه منحرف سابقة الصب سمكها ٥ سم تجمع بواسطة كابلات الإجهاد اللاحق (شكلى ١٤٥ ، ١٤٦) . وقد علقت هذه البلاطات على ٢٥٦ كابلا شدت إلى حلقة شد مركزية من الصلب وحلقة ضغط محيطية من الخرسانة المسلحة . ولكى يمنع المعماريان تذبذب السقف لجآ إلى شد الكابلات بوضع حمل يوازى ٥٠٪ من وزنه من قوالب الطوب فوق البلاطات الخرسانية . وعندما تم تحميل السقف بهذه الكيفية اتسعت الفواصل المركزية والمحيطية وملئت بالمونة فوق صلبات من ألواح الأسمنت والأسبستوس . وبرفع الأحمال الزائدة يتحول الشد السابق فى الكابلات إلى ضغط دائم على البلاطات الخرسانية يجمد الشكل العام للقبة المقلوبة ويمنع أى اهتزازات نتيجة لقوى أفقية أو علوية . وقد قامت مجموعة من طلبة كليتى العمارة والهندسة بجامعة كولومبيا فى عام ١٩٥٦ بتصميم وإنشاء استراحة بمعسكر كولومبيا الصيفى بمدينة ليتشفيلد (Litchfield) بولاية كنكتكت . والاستراحة تشبه المبنى السابق ولكنها أصغر حجماً ، إذ يبلغ قطرها ١٦ متراً ونصف متر (شكلى ١٤٧ ، ١٤٨) . وقد طبق فيما بعد نفس المبدأ الإنشائى على مبان بيضاوية ومستطيلة ومربعة .

الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع :

هذه الطريقة تحل كثيراً من المشكلات التى تواجه الإنشاء بالخرسانة السابقة التجهيز أو المصبوبة على الموقع ؛ إذ يمكن استعمال وحدات سابقة التجهيز تتميز بالخفة وصغر الحجم وسهولة النقل كصلبات

مستديمة للخرسانة المصبوبة على الموقع (شكل ١٤٩) . وفى هذه الحالة يتكون قطاع مركّب (Composite section) من الأجزاء الجاهزة والخرسانة المصبوبة على الموقع يكفى لحمل الأحمال الميتة والحية . ولا يحتاج إتمام العمل إلا إلى صلبات مؤقته بسيطة للغاية ترتكز عليها وحدات المبنى الجاهزة لتساعدها على حمل الخرسانة المصبوبة والعمال لحين اكتمال القطاع المركب . وتمتد أسياخ التسليح من القطع الجاهزة لتصب حولها خرسانة الجزء المصبوب بالموقع لتكوين قطاع متماسك . وقد أتقن نيرفى تطبيق هذا النظام على عدد من تصمياته الحديثة ، فاستخدم للأجزاء السابقة التجهيز بلاطات من مونة الأسمنت بسمك ٢ سم مسلحة بأسياخ رفيعة وشبكة من الصلب . وتبرز أسياخ التسليح من الأسطح الداخلية للبلاطات السابقة التجهيز . وهذه شكلت على شكل بلاطات ذات حواف بحيث إذا ما وضعت متلاصقة الواحدة تلو الأخرى تتكون بين جوانبها فراغات للكمرات التى تصب على الموقع (شكلى ٧٩ — ٨٠) . والخرسانة التى تصب فى أماكنها داخل هذه الكمرات وفوق البلاطات وحول التسليح تجعل من القطاع كله وحدة متماسكة .

وقد استعمل نيرفى تشكيلات مختلفة من هذا النظام لإنشاء السقف الكروى الذى يغطى إحدى قاعات العرض بمبنى معرض تورين عام ١٩٤٨ (شكل ١٥٠) وفى سقف مطعم الكورسال بضاحية اوستيا فى روما عام ١٩٥٠ (شكل ١٥١) وكذلك القبة فى البيضاوية لصالة الرقص فى شيانسيانو سنة ٥٢ — ١٩٥٣ (شكل ٥٣٤) .

ويمكن استغلال مبدأ الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع لإنشاء بلاطات خرسانية مسطحة على درجة عالية من الاستمرار والتماسك بدون استعمال شدات ، وذلك عن طريق سبق التجهيز للأجزاء السفلية من كمرات خرسانية مع ترك الكانات بارزة خارج الخرسانة . وترص هذه الكمرات على مسافات ثابتة وتوضع فوقها بلوكات خرسانية جاهزة مفرغة ، ثم يغطى الجميع بخرسانة مصبوبة على الموقع تملأ الأجزاء العليا من الكمرات وتكسو البلوكات بسمك ٥ سم . وقد استعملت شركة بونيفيكا (Bonifica) الإيطالية هذه الطريقة فى إنشاء منازل مديرية التحرير بالجمهورية العربية المتحدة بكمرات يمكن رفعها بعاملين بارتفاع ١٥ سم وعرض ١٥ سم لبحور ثلاثة أمتار (شكل ١٥٢). لم يحتج العمل إلا إلى مداد واحد عند منتصف كل كمرة يوضع لحين شك الخرسانة المصبوبة على الموقع . ومن الممكن تطوير هذه الطريقة باستعمال بلاطات جاهزة مسطحة بدلا من البلوكات المفرغة (شكل ١٥٣) . كما يمكن عمل الكمرة الجاهزة من بلوكات فخارية أو خرسانية صغيرة بارتفاع حوالى ٧ سم لبحر ٣ أمتار ، يتم

تجميعها على الموقع بواسطة أسياخ حديدية ترص فى فجوات فيها ثم ترفع يدوياً إلى موقعها ليتم صب الخرسانة فوقها بالطريقة السابقة (شكل ١٥٤) * .

وعلى الموقع يمكن استعمال بلوكات سابقة التجهيز من الخرسانة أو الطوب كشدة دائمة لحوائط خرسانية مسلحة ذات ارتفاعات كبيرة ، وقد استعملت هذه الطريقة فى إنشاء برج مارشيسون التذكارى (Murchison Memorial) فى جامعة ترينتى بارتفاع ٥٥ متراً . وقد بنى عام ١٩٦٤ من أربعة أجزاء مقعرة مكونة للحوائط الأربعة . والشدة الدائمة مكونة من حائط طوب داخلى وخارجى سمك ٤ بوصات يستعمل كشدة وكسطح خارجى . ويرص التسليح وتصب الخرسانة داخلها فى أجزاء كل منها بطول ٤ أقدام .

وقد أدى استخدام دومنيكوس بوم لنظام من الصلبات المستديمة فى كنيسة نيو ألم عام ١٩٢٦ (شكلى ٦٤ ، ٦٥) إلى تبسيط عملية تنفيذ الأشكال المنحنية إلى حد بعيد . وفى طريقة بوم تتألف الشدات من شبكة من وحدات صغيرة من الطين المحروق تجمعها أسلاك مثبتة فى أسياخ التسليح ، والأسياخ الرئيسية منها ترتبط بالكمرات الخشبية المؤقتة بواسطة أسلاك أخرى . ويغطى السطح العلوى للشبكة بطبقة من الخرسانة الخفيفة بسمك ٢,٥ سم (بوصة واحدة) . وبعد يومين أو ثلاثة تصب الخرسانة العادية فوق هذه الطبقة ** ، ثم يطلى السطح السفلى للشبكة بالأسمنت وتقطع الأسلاك التى تحملها تمهيداً لإزالة الكمرات الخشبية بعد تصلب الخرسانة[٣٧] . ويصلح هذا النظام أو تعديلاته كوسيلة لتحرير الخرسانة المسلحة من قيود الشدات الخشبية .

ومن الممكن استعمال أسطح ذات خواص عازلة أو زخرفية كصلبات دائمة . مثال ذلك استعمال ألواح عازلة للحرارة أو الصوت كألواح الاسبستوس السمنتى أو ألواح البوركس (Porex Boards) فى عمل الصلبات . كما يمكن إنتاج ألواح زخرفية ذات ألوان أو ملمس أو تشكيلات خاصة فى المصنع أو على الموقع ، ثم تنقل إلى أماكنها فى المبنى حيث تعمل كأسطح خارجية يصب فيها القلب الداخلى . وقد استعمل فرانك لويد رايت هذه الطريقة فى كثير من مبانيه الخاصة . وهكذا يمكن استغلال مميزات

* هذا الحل اقترحه بحث تم فى معهد بحوث البناء بالجمهورية العربية المتحدة تحت إشراف المؤلف . كما تمت تجارب تحميل على نماذج من الكمرات والأسقف سابقة الصب ذات بحر يساوى ٣,٠ متراً .

** استعملت طريقة بوم خرسانة مكونة من جزء أسمنت بورتلاندى وجزء رمل نهرى نظيف وجزء أو جزأين رمل بوميس أو رماد بركانى. (Onderdonk, The Ferro-Concrete Style, Architectural Book Publishing Co., New York, 1928, p. 39.)

الإنتاج الصناعى على نطاق واسع بالإضافة إلى الصب الأفقى فى ظروف مناسبة لتحقيق مستوى أعلى من الجودة وإنهاء أفضل للأسطح مع الاحتفاظ بالاستمرار المادى المميز للصب المستمر على الموقع .

حديد التسليح كصلبات دائمة :

يتحقق وفر كبير فى عمل صلبات الأسقف المنحنية إذا ما كان تسليح الأسقف من الليونة والقوة بحيث يتشكل كشدة دائمة للخرسانة المصبوبة حوله . ويصلح الشبك الممدد (Expanded metal) ذو الفتحات التى لاتسمح بمرور الخرسانة خلالها لاستعماله كمادة لتسليح الخرسانة وكصلبة مستديمة لها (شكلى ١٥٥ ، ١٥٦) . ويقوى هذا الشبك بكمرات على شكل حرف U أو T كما يمكن إضافة أسياخ تسليح خفيفة إذا دعت الحاجة إلى ذلك . وهذا الشبك بتقبله للتشكيل بسهولة على منحنيات متفاوتة القطر يسهل صب الأسطح الخرسانية المنحنية بتوفيره نفقات الصلبات الخشبية المؤقتة * (شكل ١٥٧) .

وقد يتحقق قدر كبير من الوفر فى عمل الصلبات إذا ما كان التسليح المستخدم من القوة بحيث يستعمل فى حمل الغلاف الخارجى للصلبة وما يصب عليه من الخرسانة . ففى نوع التسليح الذى استخدمه هايات كان من الممكن تعليق الشدات من الأسلحة الراسية كما تعمل الأسياخ العرضية كمقويات فى الاتجاه العمودى . وقد تحقق وفر فى عمل شدات مصنع الأسفلت التابع لبلدية مدينة نيويورك وذلك بانتقال شدات العقود الخرسانية على تسليحها المكون من قطاعات صلب إنشائى خفيفة حتى يتم صب العقد بأكمله . هذا وقد أصبح منتشراً فى أسواق أمريكا ألواح من الصاج المموج المجعد كشدة للبلاطات الخرسانية وكتسليح لها . والتجاعيد بجوانب التموجات تعمل لزيادة التماسك بين الصاج والخرسانة التى ستصب فوقه ، وتتفاوت أشكال التموجات والتجعدات من إنتاج لآخر . ولا يحتاج مثل هذا التسليح إلى أى شدة مؤقتة أسفله قبل صب الخرسانة .

الاستعمالات المتعددة الصلبات :

تعدد استعمال الصلبات كاملة أو أجزاء منها يجب أن يكون هدفاً يسعى إليه المهندس لما له من

---

* بعد نشر هذا الاقتراح سنة ١٩٥٨ بالطبعة الأولى للكتاب ظهرت تطبيقات فى أمريكا عرفت باسم (Reinforced thin-shell construction) . وقد بنيت بها قبتان توأمتان متلاصقتان لأحد مطاعم شركة شفلس (Chefless) والقبتان مكونتان من ثمانية جمالونات فراغية منحنية محملة على ست قواعد . والجمالونات متصلة بأسياخ مربعة مجوفة ١ بسمك بوصة فى كل اتجاه ، وهذه الأسياخ تحمل الشبك الممدد سمك $\frac{3}{8}$ بوصة . كما أضيفت ست دوائر كاملة من أسياخ التسليح حول كل قبة لمقاومة الدفع الجانبى للقبة . وقد رشت الخرسانة بسمك $3\frac{1}{4}$ بوصات على الشبك الممدد مضافاً إليها مادة رغوية (vanifoam) مكونة فقاعات غازية فى الخرسانة الخفيفة الوزن (شكل ١٥٨) .

فوائد اقتصادية واضحة . وعليه أن يخطط لذلك في مراحل التصميم الأولى للخرسانة المسلحة المصبوبة على الموقع لما يفرضه هذا الهدف من قيود على عملية التصميم المعمارى .

إذا بدأنا بتعدد الاستعمال الكلى للصلبة نجد أن البالونات ذات الهواء المضغوط تتيح إمكانيات إنشائية ومعمارية واسعة في هذا المجال . وقد اخترع المعمارى الأمريكى والاس نف (Wallace Neff) عام ١٩٤٠ طريقة تعرف بطريقة ايرفورم (Air Form) طورها من بعده المعمارى اليوت نويز (Eliot Noyes). وفيها تستعمل بالونات من النيوبرين والنايلون يضغط فيها الهواء إلى ضغط داخلى معين (شكل ١٥٩) ثم يوضع عليها التسليح الذى يتكون من شبكة من الأسياخ الرفيعة تحيط بالجزء الرأسى السفلى وسلك حظائر رفيع (chicken wire) بالجزء العلوى (شكل ١٦٠) .ثم ترش الخرسانة على طبقات سمك الواحدة ١ سنتيمتر لتكون سقفاً قشرياً سمكه ٥ سم عند القاعدة و ٤,٥ سم عند القمة (شكل ١٦١) . وبعد ٢٤ ساعة يفرغ البالون ويسحب إلى خارج القبة القشرية من خلال فتحة فيها . ثم ترش الصدفة بأكملها بمادة (Vapor seal) وتجلد بطبقة عازلة من لفات من الصوف الزجاجى تؤلف غطاء محكماً بسمك حوالى ٤ سم ثم تصب قشرة خرسانية ثانية بنفس سمك الأولى مستعملة الطبقة الأولى كصلبة لها . وقد طبقت هذه الطريقة في استعمالات معمارية محدودة ، في حين لم تذهب تصميمات أخرى إلى ما هو أبعد من مرحلة الدراسة . وما زالت احتمالات التوسع في استعمال الهواء المضغوط كحامل مؤقت للخرسانة المسلحة في يد رجال الصناعة والمقاولين والمعماريين لاستكشافها . ومن حيث المبدأ أثبتت المحاولات نجاح هذه الطريقة في أنواع محددة من الإنشاءات .

وقد استنبطت أنواع من الصلبات المتحركة أفقياً ورأسياً للاستعمالات المتكررة ، وخاصة في المنشآت ذات الوحدة المتكررة . وفي هذه الحالة يتحقق وفر كبير في تكاليف الشدات وفي الوقت اللازم لإقامتها وإزالتها . وتعتبر المبانى المكونة من بوائك عديدة متكررة ميداناً صالحاً للاستفادة من الاستعمالات المتعددة للصلبة المتحركة أفقياً . مثل هذه الصلبات قد تستعمل لإنشاء مبان مستطيلة كبيرة ذات أسقف أفقية ، أو صدفات أسطوانية متعددة البوائك (شكل ١٦٢ ، ١٦٣) . وقد حقق نيرفى تلك المميزات الاقتصادية باستخدام صلبات الأسمنت المسلح المتحركة أفقياً في إنشاء مخزن الطباق في بولونيا عام ١٩٤٩ (شكل ١٦٤) وفي مصنع جاتى للصوف (Gatti Wool Mill) بروما سنة ١٩٥١ (شكل ١٦٥) وفي مبنى مصنع من ثلاثة طوابق بتورين بطول ٢٠٠٠ قدم سنة ١٩٥٤. وقد تطلب إنشاء ٣٦٠٠٠ متر مربع من البلاطات الخرسانية في المصنع الأخير ٣٠٠٠٠٠ ساعة عمل خلال ١٠٠ يوم[٣٨]. مثل هذا

الوفر فى ساعات العمل ، وهو الأمر المرغوب فيه فى البلاد الصناعية كالولايات المتحدة ، يتيح فرصة تبنى هذه الطريقة وخاصة فى المبانى الصناعية ، ولا سيا فى حالة الاحتياج إلى مبان مقاومة للحرائق .

ومن الممكن أن تستعمل وحدات كاملة من الشدات المتحركة رأسيًّا وخاصة بالمنشآت الخرسانية ذات الحوائط الحاملة . وتظهر الفائدة الاقتصادية لصلبات قفزة الضفدع (Leap-frog) الصاعدة ، والصلبات الزاحفة (Slip form) فى صوامع الغلال (شكل١٦٦) ؛ وفى المبانى المتعددة الطوابق . مثل هذه الصلبات تحقق وفراً أكيداً فى الوقت الضائع فى فك الشدات وإعادة تركيبها بالنسبة للمبانى العالية .

وقد تطورت طريقة كونكريتور- بروميتو (Concretor-Prometo) للصلبات الزاحفة بواسطة المهندسين السويديين لندمان وهايدينستام (Emrik Lindman & Erik Van Heidenstam) فى أواخر الأربعينات : وهى تستعمل الآن على نطاق واسع فى إنشاء السدود والصوامع وخزانات المياه والمنارات ، وكذلك فى الإنشاء السريع للعمارات العالية . وعملية الانزلاق للشدة تم عن طريق روافع هيدروليكية بسيطة ، وهذه يمكن تشغيلها كهربيًّا بواسطة مضخة زيت تعمل على الروافع جميعها تحت إشراف شخص واحد وبمعدل رفع من ١٥ سم إلى ٤٠ سم فى الساعة . هذا المعدل يتوقف على حالة الجو وسمك الحائط ونوع الخرسانة ومعدل تصلبها . والجهاز يمكن تثبيته على أى سمك للحائط ، وبشدات مستقيمة أو منحنية . وتوضع أسياخ التسليح داخل الشدات المتحركة مع ترك الفتحات المطلوبة ، كما فى الإنشاء العادى . والأجهزة يمكن فكها وتركيبها فى ساعات قليلة ، ومن أهم أمثلة استعمال هذه الطريقة خزان مياه سعة مليون جالون بارتفاع ١٩٥ قدماً وقطر ٩٨ قدماً فى تايلر (Tyler) بولاية تكساس . وقد تم سبق الإجهاد اللاحق للمنشأ رأسيًّا بوضع أسياخ التسليح رأسيًّا فى أسطوانات من الصلب ، وأفقيًّا بواسطة أسياخ دائرية حول حائط الخزان والقبة المغطية له . وهذه كسيت بطبقة من خرسانة المسدس لتغطية التسليح . والإجهاد اللاحق تم من الشدة المحمولة بواسطة القالب المنزلق . وقد استعملت هذه الطريقة فى الإنشاء السريع لعمارات سكنية . ومن المشروعات النموذجية عمارة سكنية ذات تسعة طوابق فى المدينة السويدية اسكيلستونا (Eskilstuna) بارتفاع ٢٧ متراً وطول ٢٧ متراً وعرض ٢٠ متراً . وقد ابتدأت الأعمال الخرسانية يوم ٢٥ نوفمبر سنة ١٩٥٧ ، وانتهت الأعمال فى الطوابق التسعة فى ٥ ديسمبر من نفس السنة . وانتهت أعمال الأرضيات وطلاء الحوائط وعمل الفتحات والأدوات الصحية وغيرها من التشطيبات . وقد تم صب الحوائط الخارجية والداخلية بواسطة الشدات المنزلقة بواسطة مضخة واحدة تنزلق بمقدار $2\frac{1}{2}$ سم كل سبع دقائق

ونصف دقيقة . وقد وضعت النوافذ مباشرة فى الحوائط الخارجية ، كما تركت أسياخ عند الارتفاعات المناسبة فى الحوائط لربطها بالأسقف التى صبت بالطريقة العادية .

وقد أصبحت طريقة الصبات الزاحفة الطريقة المثلى لتطور إنشائى كبير بالنسبة للأبراج السكنية أو المكتبية العالية . وقد أصبحت الطريقة المتبعة الابتداء بإنشاء برج الخدمات الذى يحوى السلالم والمصاعد وغيرها من الخدمات العامة عن طريق الصلبات الزاحفة إلى ارتفاع معقول ، ثم يوضع ونش كبير على البرج الأوسط يستعمل فى الإنشاء لبقية أجزاء المبنى المحيطة من نقطة مركزية عالية ، وذلك عن طريق الصب على الموقع أو بواسطة الوحدات الجاهزة . وقد استعملت هذه الطريقة فى إنشاء مجموعة ناسبيدال (Nasbydal) السكنية وهى تبعد ١٠ أميال من ستكهولم . والمجموعة تتكون من ثمانى وحدات ذات سبعة عشر طابقاً . وقداستعملت شدات كونكريتور — بروميتو السابق الإشارة إليها فى صب أبراج الخدمات فى قلب كل وحدة بمعدل ٣ أسابيع لكل وحدة . وبانتهاء البرج يتم تجميع الونش فى أعلاه ، وهذا يستمر فى مكانه إلى نهاية المشروع (شكل١٦٧) . هذا الونش يؤدى جميع الأعمال اللازمة من تثبيت للحوائط الجاهزة والبلاطات وغيرها من الوحدات . كما أنشأ البرج الدائرى للخدمات بعمارات مارينا سيتى (Marina City) بشيكاغو بارتفاع ١٩٠ متراً ، وبقطر ١٠ أمتار ، باستعمال نفس الطريقة . ولم يكن الصب مستمراً كما فى حالة الصلبات الزاحفة ، ولكن على دفعات لكل طابق على حدة .

وفى الصدفات الدورانية يمكن استخدام الصلبات الدائرية (Cyclic formwork) وينقسم التنفيذ إلى مراحل متعددة تصب فى كل منهما شريحتان متقابلتان ترتكزكل منها على الأخرى (شكل ١٦٨) .

وفى كثير من المنشآت يصعب الوصول إلى هيكل كامل يصلح أن يكون صلبة متعددة الاستعمال لأجزاء متكررة من المنشأ ، وعندئذ يمكن تكرار استعمال وحدات أصغر من الصلبات . من هذه الوحدات البانوهات الأبلكاش بمقاسات وأشكال على معدلات ثابتة بحيث يمكن استعمالها مئات المرات فى مبنى واحد ، أو فى عدة مبان . مثل هذه البانوهات تثبت إلى هيكل حديدى . وقد تتيح بانوهات الصاج عدداً أكبر من الاستعمالات لأنها لاتنتفخ ولاتتمدد أو تتبعج الأمر الذى يحدث فى الصلبات الخشبية .

معالجة الأسطح الخرسانية *

الخرسانة مادة ذات إمكانيات ممتازة فى المعالجة المعمارية للأسطح ، وتكوينها وطبيعتها اللدنة تفتح مجالات عديدة فى الملمس واللون لملاءمة المطالب المختلفة للمنفعة والجمال . والخرسانة المكشوفة

* يراجع الفصل العاشر لمناقشة النواحى الجمالية للأسطح الخرسانية .

يجب معالجتها بمهارة الأخصائى وعناية الفنان . فهى لاتنقاد للعمل السريع بدون تضحية كبيرة بالجودة والتحمل . فالسطح الخرسانى المكشوف يحتاج فى حالات خاصة إلى معالجة إضافية لتكسير أو تسوية البروزات والنتوءات أو أى مسطحات معيبة قد تظهر بعد رفع الشدة . كما أنه من الضرورى ملء المسطحات المنخفضة بالمونة . مثل هذه الطرق غير اقتصادية ، وتترك أجزاء معيبة فى المظهر النهائى . وتعتبر المعالجة بالأدوات اليدوية ، أو التقسيم إلى حشوات ، أو عمل عراميس من الوسائل التى تنجح فى إخفاء هذه العيوب . كما أن تعمد إظهار انطباعات الشدات الخشبية على الخرسانة قد يقلل من عدم الانتظام أو التجانس فى الأسطح الخرسانية . وفى هذه الحالة يلزم العناية بتوزيع الألواح الخشبية المستخدمة واختبار جودتها . وفى احتمالات أخرى يمكن إظهار جزئيات الزلط والرمل التى تكون الخلطة الخرسانية بواسطة الطرق أو الكشط والتسوية أو هبوب الرمل (Sand Blast) أو المسح بفرشاة سلك (Wire-brushing) بعد رفع الصلبات . وقد يضاف محلول الدكسترين (Dixtrin) أو أى محلول آخر من شأنه تأخير شك السطح الأسمنتى بحيث يتم نزعه بسهولة .

مثل هذه الطرق لكشف الركام غير مجدية إذا لم تبذل العناية الخاصة بنوع الركام المكشوف . وقد بدأت مجهودات ضخمة فى البلاد الإسكندنافية لتحسين شكل السطح الخرسانى عن طريق التحكم فى شكل وتوزيع الركام . ومن الطرق المتطورة طريقة ناتور بيتونج (Naturbetong) وفيها تملأ القوالب بالركام المنظم بأحجام تزيد على ١,٥ سم وتهز القوالب لتركيز الركام وإلغاء الفراغات . وباستعمال أنابيب مدفونة فى القوالب يتم صب خليط خرسانى ، وبعد الشك تنزع القوالب وترش بالرمل[٤٠] . ويظهر عند ذلك سطح متجانس وطريف ذو احتمال كبير لتقلبات الجو كفيل بإخفاء عيوب الإنشاء . ويمكن استعمال الرش بالرمل لكشف أجزاء معينة من السطح (شكل ١٧٠) . وفى هذه الحالة يدهن السطح الداخلى كله بالدكسترين ثم يستعمل الفنان مسدساً خاصاً لرش الرمل ولرسم أشكال خاصة على السطح الخرسانى . وهناك طريقة أخرى وهى تغطية القالب بأسطح من الكاوتشوك بالشكل المرسوم ثم يدهن الباقى بالدكسترين ، وعند نزع القالب يمكن رش المناطق المدهونة بالرمل ، ويكفى فى بعض الأحيان معالجتها بفرشاة صلبة . هذه الطرق تستعمل فى صناعة وحدات الواجهات الخرسانية السابقة الصب ، ويمكن فى هذه الطريقة استعمال ركام ذى أنواع وأشكال متعددة .

وسبق التجهيز يفتح مجالات لا حدود لها لنهو الأسطح الخرسانية من الناحية الفنية والإنشائية ،

وقد أصبح من الممكن فى بلاد كثيرة بأوربا وأمريكا توريد بانوهات خرسانية سابقة الصب من عينات ومقاسات ثابتة أو حسب الطلب، ذات أسطح مزخرفة بالركام أو ذات انطباعات بارزة أو غاطسة لاستعمالها ككسوة خارجية للحوائط والأعمدة . وقد انتشرت مثل هذه التكسيات فى أمريكا واتخذت أشكالا وأنواعاً عديدة ، وأصبحت تحت الطلب فى جميع الولايات . ومن الممكن إذا ما سلحت هذه البلاطات بطريقة سليمة أن تستعمل كشدة دائمة للقالب الخرسانى المصبوب على الموقع . كما يمكن استعمال بلاطات ناعمة التشطيب كشدات دائمة وكأسطح داخلية للأسقف* .

وهناك اتجاه آخر للوصول إلى سطح خرسانى من الركام المكشوف المنتقى ، وذلك بصب السطح الخارجى والقلب الخرسانى فى وقت واحد مع فصلهما مؤقتاً بلوح معدنى يرفع مع سير العمل . كما وصلت جمعية الأسمنت البورتلاندى فى أمريكا (Portland Cement Association) إلى طريقة نقل الركام (Aggregate Transfer method) وفيها ينتقل الركام الخاص من بانوهات (Liners) موضوعة على السطح الداخلى للشدة ليلتصق بالقلب الخرسانى المصبوب داخلها** .

وتمثل التكسيات النهائية للأسقف القشرية حالات خاصة حيث يلزم أن تكون صلبة تتحمل السير عليها ، كما تتحمل اختلاف العوامل الحيوية ، سهلة الصيانة ، قليلة التكاليف ، مقبولة المظهر كجزء هام ومسيطر من واجهة المبنى . تحت هذه الظروف يكون اتخاذ قرار بشأنها ذا أهمية كبيرة من الناحية الانتفاعية والجمالية . ومن المحتمل أن تترك الصدفات الخرسانية مكشوفة بدون كسوة اعتماداً على جودة اندماك الخرسانة وعدم مساميتها مع إضافة عازل للمياه فى الخلطة . والكسوات المفضلة والمتوافرة حالياً هى الطبقات البتومينية أو الأسفلتية وألواح النحاس وبلاطات السيراميك أو الأزمالتو . وهناك دهانات استخدمت فعلا من المطاط الصناعى ذات مقاومة للحرارة والبرودة وأشعة الشمس والزيوت والكيماويات والحريق ، وهى متوافرة تجارياً وبألوان متنوعة .

---

* بانوهات الأسمنت المسلح التى صنعها نيرفى استعملت كسطح داخلى فى معظم مبانيه ودهنت بفرشة الأسمنت الأبيض للوصول إلى مظهرها النهائى .

** لتفاصيل أكثر استشر كتيب Portland Cement Association, Color in Architectural concrete by the Aggregate transfer method (Chicago, Portland Cement Association, 1950), p. p. 1-11

٤
الابتكارات التكنولوجيّة فى مجال التصميم

استعملت أغلب المواد الإنشائية ومنها الحديد الزهر والمطاوع والصلب والألومنيوم والخشب والخرسانة المسلحة ، على شكل كمرات أو جمالونات تغطى بألواح خفيفة غير إنشائية . وفى مجال البحور الواسعة يمثل الحمل الميت لهذه الوحدات الإنشائية ، إذا ما نفذت بالخرسانة المسلحة ، عائقاً كبيراً نحو زيادتها . وقد كان التطوير التكنولوجى للخرسانة المسلحة نحو استغلال خواصها الذاتية حتمياً لكى تقف كمنافسة فى مجال الإنشاء المضاد للحريق . وقد وضع الخطوط الرئيسية لهذا التطوير أناس فنيون فى الصناعة قاموا بمعاملتها كمادة لها كيان خاص ، ومن أهمهم روبرت مايار المهندس السويسرى الذى قال عنها :

« الخرسانة المسلحة لاتنمو مثل الخشب ، كما أنها لاتسحب مثل الصلب ، وليس لها وصلات مثل المبانى الحجرية ، ومن اليسير جداً مقارنتها بالحديد الزهر من حيث كونها مادة تصب فى قوالب. وقد ينفعنا أن نستفيد من الأشكال المكتشفة للحديد الزهر فى تحاشيها الخطوط المتعامدة والتجائها للاستمرار المادى بين الأجزاء التى تؤدى وظائف مختلفة »[1] .

والخرسانة المسلحة — كمادة بلاستيكية — أغرت المصممين ذوى الخيال الواسع بابتكارات إنشائية شكلت الخرسانة المسلحة بأشكال خاصة تلائم الطبيعة الأساسية للمادة .

البلاطة الخرسانية كوحدة إنشائية فعالة :

تأثرت الاستعمالات الأولى للخرسانة المسلحة بالأساليب المتبعة فى مواد البناء السائدة ؛ فقد عالجت طريقة هنبيك — وهى أساس لمعظم الاستعمالات المبكرة للخرسانة المسلحة — تلك المادة الحديثة بنفس طرق معالجة الخشب أو الصلب ، إذ كانت الوحدات الخطية كالكمرات والتطريحات والأعمدة تحمل البلاطة المستوية غير الفعالة .

وقد امتاز روبرت مايار المهندس السويسرى بنظرته الجديدة إلى الخرسانة المسلحة ، وهى تتعارض تماماً مع نظرة أستاذه هنبيك . وقد توصل بإيمانه واقتناعه القوى بإمكانيات الخرسانة المسلحة الخاصة إلى أبسط الحلول وأقواها مما جعل لأعماله تأثيراً كبيراً فى رسم اللغة الجديدة للخرسانة المسلحة .

وقد رأى مايار فى البلاطة الخرسانية وحدة إنشائية فى مقدورها نقل الأحمال مباشرة إلى الأعمدة دون الحاجة إلى كمرات أو عقود . وقد علق مايار على التوزيع التقليدى ، بلاطة — كمرة — عمود ، وهو الذى استعمله هنبيك وآخرون بقوله :

« وضع ذلك التوزيع كما لو كان الإنشاء بالخشب أو الصلب . فالكمرات تمتد من الحائط

للحائط ، ومن العمود للعمود . وتتعامد مع هذه الكمرات الرئيسية كمرات ثانوية وتملأ الفراغ بينها بلاطات ، وذلك دون اعتبارها وحدة إنشائية خاصة[٢] .

ومن عام ١٩٠٨ ابتدأ مايار تجاربه على البلاطات بدون الكمرات المرتكزة على أعمدة مشرومية (Mushroom Columns) وقد قام ببناء أول مبنى أوربى من هذا النوع فى سنة ١٩١٠ وهو مخزن شركة بشلشافت (Beschellschaft) بزيورخ . وقد تبعه بأعمال فى نفس الاتجاه ومنها مخازن التدورف (Altdorf) عام ١٩١٢ (شكلى ١٧١ ، ١٧٢) ، وفى حوالى عام ١٩١٠ ، وعلى أساس مختلف ، ابتكر مهندس أمريكى يدعى تيرنر (Turner) طرازه الخاص من البلاطة بدون كمرات . غير أن تصميماته اشترطت أن تمر كل أسياخ التسليح فوق الأعمدة مما استلزم وجود بانوهات ساقطة عند هذه النقط (شكل ١٧٣) .

وقد استخدم مايار البلاطة الإنشائية مقوسة أو مستوية ، كما جمع بين الاثنتين فى تصميماته للكبارى الخرسانية وفيها اتجه إلى الاستفادة من كل عناصر الكوبرى كوحدات إنشائية حاملة ؛ فربط البلاطة الأفقية الحاملة للطريق بالبلاطة المقوسة السفلية مكوناً جسماً متماسكاً مقاوماً للجهود التى يتعرض لها المنشأ . وقد تم هذا باستعمال بلاطات رأسية رابطة ، وهذه أخذت أشكالا متنوعة فى تصميمات مايار المختلفـــة . وقد اتبـــع مايار هذا الاتجـــاه فى تصميماته للكبارى منذ عام ١٨٩٩ فى كوبرى ستاوفاشر بزيورخ (Stauffacher Bridge) (شكل ١٧٤)* وكوبرى تافاناسا عام ١٩٠٥ (Tavanasa Bridge) (أشكال ١٧٥ إلى ١٧٧) . ومن الكبارى الأخرى التى بنيت على نفس الأسس كوبرى سالجيناتوبل (Salginatobel Bridge) عام ١٩٢٩ — ١٩٣٠ (شكلى ١٧٨ — ١٧٩) وكوبرى شفاندباخ (Schwandbach Bridge) بمدينة كانتن بيرن (Canton Berne) عام ١٩٣٣ (شكلى ١٨١—١٨٢) وكوبرى المشاه فوق نهر تويس (Toess) بالقرب من وولفلنجن (Wulflingen) (شكل ١٨٣) . وباستعمال عقود ثنائية وثلاثية صندوقية بنى مايار بعضاً من كباريه التاليه ذات المفاصل الثلاثة . وقد حقق هذا التصميم اقتصاداً فى عمليات الصلبات ومرونة أكثر فى مسقط الكوبرى . وتعتبر الكبارى المقامة على نهر ثور (Thur) بالقرب من سانت جال (Saint-Gall) بسويسرا عام ١٩٣٣ وعلى نهر أرْڤ (Arve) بالقرب من جنيف عام ١٩٣٦ (شكل ١٨٤) من ضمن أمثلة عديدة فى هذا الاتجاه .

* اضطر مايار تحت ضغط موظفى المدينة إلى إضافة تكسيات كلاسيكية لواجهة هذا الكوبرى . مثل هذه التكسيات استغنى عنها فى أغلب الكبارى اللاحقة .

ويمتاز الأخير بتعبيره الرائع عن بلاستيكية الخرسانة المسلحة بأعمدته المرنة القريبة الشبه بالأشكال العضوية .

الصدفات القشرية :
Thin Shells

التطوير الذى قام به مايار فى مجال البلاطات الخرسانية يعتبر مقدمة لتطور حديث فى مجال الإنشاء الخرسانى أعلن دخول الخرسانة المسلحة كمنافس اقتصادى فى مجال تغطية البحور الواسعة ، ونقصد بهذا تحقق الإمكانية العلمية والعملية للإنشاء الخرسانى القشرى .

فالبلاطة الخرسانية المسلحة كما طورها مايار تعتبر عنصراً إنشائياً ذا كفاية أعلى بكثير من كفاية شبكة من الكمرات . وهذا يرجع إلى إدخال عنصرى مقاومة الالتواء والتمدد ، الأمر الذى أشرك جزءاً أكبر من البلاطة فى حمل الأثقال . ورغم ذلك ففى حالة البلاطات السميكة تكون إجهادات الانحناء أعلى بكثير من إجهادات التمدد(٣) . وبذلك يبقى جزء كبير من قطاع البلاطة حول المحور المحايد غير فعال . أما فى حالة البلاطات الرقيقة المرخمة فإن التمدد يصبح الظاهرة المتغلبة تبعاً لزيادة المرونة ، وعندئذ يقاوم قطاع البلاطة بأكمله الجهود القشرية المحورية الناتجة ، وينتج عن هذا زيادة الكفاية الكلية للبلاطة كإنشاء معلق معرض لجهود شد . وإذا قلبت هذه البلاطة الرقيقة وعرضت لأحمال موزعة تحولت إجهادات الشد المحورية إلى إجهادات انضغاط وشد محورية حسب طريقة التحميل . هذه البلاطة الرقيقة المنحنية هى ما نسميها بالصدفة القشرية . ويمكننا تعريف الصدفات القشرية بأنها المنشآت السطحية ذات الانحناء المفرد أو المزدوج وذات السمك الصغير بالنسبة للمسطح والمصنوعة من مادة تتحمل الانضغاط والشد . والفرق بين العقود التقليدية والصدفات القشرية هو أن فى الأولى يعمل كل شريط ككمرة مستقلة ، فى حين أن الثانية تعمل كسطح متماسك . كما أن نسبة السمك للبحر فى الثانية أقل كثيراً من الأولى . وبينما المادة فى الأولى تتحمل الانضغاط فإننا نجد أن الصدفة القشرية لكى تعمل كصدفة يجب أن تتحمل المادة إجهادات الانضغاط والشد فى الاتجاهين .

أول منشأ خرسانى قشرى معروف هو محطة للسكك الحديدية برسى (Bercy) بباريس سنة ١٩١٠(٤) وقد تبعتها محطة أخرى فى ليل سانت ساڤير (Lille-St. Saveur) بفرنسا سنة ١٩١١ ، كما أنشئت تسع وثلاثون حظيرة للطائرات من النوع الأسطوانى القصير ذات بحر ١٩٧ قدماً فى آڤور شير (Avord Cher) واسترز (Istres) بمقاطعة بوش دى — رون (Bouches du-Rhone) بفرنسا سنة ١٩١٦ — ١٩١٧(٥) .

وقد انتشر استخدام هذه الطريقة فى الإنشاء فى العشرينيات بعد ابتكار طريقة زايس — ديڤيداج

(Zeiss-Dywidag) للإنشاء القشرى. وقد استعملت القبوات الأسطوانية الطويلة لأول مرة فى مصانع زايس سنة ١٩٢٤ وفى مدينة نيوس (Neuss) سنة ١٩٢٥ وتبعها أول سقف ذى بحر واسع (٧٥ قدماً) فى صالة عرض بدسلدورف سنة ١٩٢٦ . ومنذ ذلك الحين انتشر الإنشاء القشرى فى شتى أنحاء أوربا. وكان أول استعمال للقبوات الطويلة على مقياس واسع فى سنة ١٩٢٧ فى صالة السوق فى مدينة فرانكفورت على ماين (Frankfurt-on-Main) بطول ٧٢٠ قدماً وبحر ١٤١ قدماً وارتفاع ٧٥ قدماً (شكل ١٨٥) كما بنى يوجين فريسينيه صالة السوق فى مدينة رايمز (Reims) عام ١٩٢٨ — ١٩٢٩ وورش الصيانة بمدينة بانيوه (Bagneux) من قطاعات شبه مخروطية (Conoids) على أعمدة منتظمة فى نفس العام .

كما بنيت قبة دائرية فى فرانكفورت سنة ١٩٢٨ لمرفق الكهرباء (شكل ١٨٦) ويبلغ قطرها ٨٥ قدماً ، فى حين لا يتجاوز ارتفاع أعلى نقطة فيها عن منسوب قاعدة السقف الكروى ١١ قدماً . وقد نفذت الصدفة بسمك $1\frac{9}{16}$ بوصة وبذلك تكون نسبة سمك الصدفة إلى بحرها هى ١ : ٦٥٠ . وتعتبر صالة السوق بمدينة ليبزج (شكل ١٨٧) من أكبر النماذج المنفذة للقباب المثمنة وهى تغطى مساحة أبعادها ٧٨٣ قدماً و ٢٤٨ قدماً . ويبلغ بحر كل من القباب الثلاثة المكونة للصالة ٢٤٨ قدماً ، والقبة مكونة من مجموعة أسطح أسطوانية ذات سمك $3\frac{1}{2}$ بوصات تتقابل على ضلوع لتكون مسقطاً متعدد الأضلاع* . وقد صممها المهندسان داشنجر وريتر (Daschinger & Ritter) .

ويعتبر الاستخدام العبقرى لفريسينيه للأسطح المضلعة الرقيقة فى بناء حظائر الطائرات بمطار أورلى بفرنسا استعمالا رائداً لهذا النوع من الإنشاء . وقد استخدمت فيها قطاعات مضلعة صندوقية متكررة الواحد بجوار الآخر ، وكل قطاع على هيئة القطع المكافئ ببحر ٣٢٠ قدماً وارتفاع ١٩٥ قدماً (شكل ١٨٨) .

وقد استعملت القبوات المضلعة بتصرفات عديدة منذ الحرب العالمية الثانية فى فرنسا فى الحظيرتين التوءمتين بمرسيليا وفى إيطاليا بواسطة المهندس الإيطالى نيرفى فى عديد من منشآته الواسعة البحور (شكلى ١٠٦ ، ١٠٧) .

وتعتبر أعمال المهندس الأسبانى إدوارد تروخا (E. Torroja) قبل الحرب الأهلية الأسبانية سنة

* ومن الطريف أن نقارن هذه القباب بقبة تاريخية هى قبة كنيسة سانت بيتر بروما ، والأخيرة ذات قطر ١٣١ قدماً ووزن كلى ٦٠,٠٠٠ طن فى حين أن كلا من قباب ليبزج تزن ٢١٦٠ طناً بقطر ٢٤٨ قدماً . من هذه المقارنة نلاحظ خفة الوزن التى حققها الإنشاء الخرسانى القشرى .

١٩٣٤ – ١٩٣٥ فى قبة السوق فى الجيسيرس (Algecires) (شكلى ١٩٠ ، ١٩١) والسقف الأسطوانى فى فرنتون ريكوليتوس (Fronton Recoletos) (شكل ١٩٢) وفى تغطية المقاعد بحلقة سباق ازارزويلا (Zarzuela) بمدريد ، أمثلة فريدة فى استعمال أشكال مفردة أو مزدوجة الانحناء مستقلة أو فى مجموعات (شكل ١٩٣) .

ويعتبر تصميم روبرت مايار للسقف القشرى لصالة عرض الأسمنت بالمعرض السويسرى القومى سنة ١٩٣٨/١٩٣٩ مثلا تقدمياً للإنشاء بالصدفات الرقيقة فى مرحلة مبكرة من تطورها (شكل ١٨٩). ومن المسلم به أن هذا التصميم قد استوحى من حظائر الطائرات التى سبق إنشاؤها بأورلى . ولم يكن وراء إنشاء الصدفة الأسطوانية القشرية ، التى يبلغ بحرها ٥٣ قدماً وطولها ٧٠ قدماً وارتفاعها ٣٧ قدماً وسمكها $٢\frac{٣}{٨}$ من البوصة ، أى غرض انتفاعى . وإنما كان الهدف منها الإعلان بطريقة دراماتيكية عن إمكانيات الأسمنت البورتلاندى فى الخرسانة المسلحة . وفى وسط هذا السقف هيكلان للتثبت (Stiffening frames) يبعدان ٩ أقدام أحدهما عن الآخر ، ويبرز على جانبى الهيكلين نصفا السقف ذى القطاع المكافئ ، وأحد هذين النصفين مخروطى والآخر أسطوانى . وقد أزيل هذا السقف عند انتهاء المعرض بعد إجراء سلسلة من التجارب عليه .

ومن الأسقف المزدوجة الانحناء تطورت وانتشرت صدفات القطع الزائدى المكافئ (Hyperbolic Paraboloid) فى فرنسا* فى أواخر العشرينيات بواسطة المهندسين الفرنسيين ومنهم مسيو ايموند (Aimond) من باريس. وفى إيطاليا نجد المهندس بارونى (Baroni) فى ميلانو فى مقدمة من طوروا مثل هذا النوع من الأسقف منذ عام ١٩٣٤ . وتعتبر تصميماته لأسقف المصانع فى ميلانو أمثلة رائدة فى استعمال القطع الزائدى المكافئ كسقف للمساقط ذات الباكيات المتكررة (شكل ١٩٤). وفى عام ١٩٣٨ استعمل بارونى وحدات على شكل مظلة ، وكل وحدة تتكون من أربعة قطاعات زائدية مكافئة ، وذلك فى سقف مخزن فى مدينة فيرارا (Ferrara) (شكل ١٩٥) . وحديثاً صمم المعمارى المهندس فيلكس كاندلا (Felix Candela) أشكالا متنوعة لاستعمالات معمارية مختلفة . وقد استعملها فى عدة مبان كالكنائس والأسواق ومبانى المعامل والمصانع ومظلات الموسيقى (أشكال من ٣٧١ إلى ٣٧٣) .

وتعتبر أعمال المهندس الفرنسى برنارد لافاي ذات أهمية تاريخية كبيرة فى تطوير الصدفات

---

* لعل أول من استعمل هذا الشكل فى القبوات الحجرية للكنائس هو المعمارى جاودى (A. Gaudi) فى تجاربه للوصول إلى تصميم إنشائى منطقى بالإضافة إلى العلاقة الرمزية لمكوناته من ضلعين وراسم بالثالوث المقدس [٦] .

القشرية وخاصة ذات الرواسم الخطية (Ruled Surfaces). فمنذ عام ١٩٢٩ وهو مشغول بإنشاء أسقف من هذا النوع بأسماك بلغت من بوصتين إلى ٢½ لبحور تتراوح بين ١٠٠ ، ١٦٥ قدماً . وفى عام ١٩٣٣ أقام سطحاً قشرياً تجريبياً فى درو (Dreux) مكوناً من أربع وحدات قطع زائدى مكافئ محددة بخطوط مستقيمة ، وكل وحدتين بارزتين مسافة ١٤ متراً عن الهيكل الحامل الأوسط (شكل ١٩٦) . كما أجرى لافاى تجارب بالأغشية المعلقة المعرضة للشد، وقد تمكن من تنفيذ أفكاره فى الجناح الفرنسى بمعرض زغرب عام ١٩٣٥ (شكل ١٩٧) .

وفى الولايات المتحدة أدخل الإنشاء القشرى بواسطة شركة روبرتس وشيفر (Roberts & Shaeffer) للاستشارات الهندسية . وقد حصلا على ترخيص لاستعمال طريقة زايس ديفيداج ، ومنذ ذلك الحين عهد إلى المكتب بتصميم عدد كبير من الأسقف القشرية بأنواع مختلفة لخدمة أغراض متباينة . ومن بين حظائر الطائرات التى تزيد عن الخمسين والتى صممها مهندسو الشركة ، اثنتان لهما أكبر بحر للصدفات الأسطوانية القصيرة فى العالم وهما حظيرتا طائرات الجيش الأمريكى بمدينة رابيد سيتى (Rapid City) بولاية داكوتا الجنوبية ومدينة لايمستون (Limestone) بولاية مين (Maine) وقد أنشئتا سنة ١٩٤٩ (شكل ١٩٨) كما استعملوا الصدفات القصيرة فى عديد من المنشآت الصناعية ومنها مصانع شركة باد (Budd Mfg) بفيلادلفيا (شكل ١٩٩) . وتعتبر القبة الصدفية لمتحف هايدن الفلكى (Hyden Planetarium) فى نيويورك من أقدم أمثلة الصدفات القشرية المزدوجة الانحناء فى الولايات المتحدة (شكل ٢٠٠) . وقد كلفت الشركة فيما بعد بتصميم القبة فوق مسرح جامعة تولين (Tulan University) بنيو أورلينز وكذلك القباب البيضاوية المقامة فوق مرشحات التقطير فى هيبنج (Hibbing) بولاية مينسوتا (شكل ٢٨٤) .

وتعتبر مؤسسة أمان وويتنى (Ammann & Whitney) المهندسين الاستشاريين، من طليعة الهيئات الهندسية الأمريكية التى يعزى إليها تطور الصدفات القشرية فى الولايات المتحدة. وتعتبر حظائر طائرات شركتى الخطوط الجوية الأمريكية والخطوط الجوية العالمية التى تم إنشاؤهما سنة ١٩٤٨ بشيكاجو بولاية الينوى من الأمثلة الأولى لهذا النوع من الحظائر (شكلى ٢٠١ ، ٢٠٢) . وفى مجال الحظائر الحديثة التى تتطلب فراغاً أكبر للطائرات صمم المكتب نوعاً جديداً من الحظائر له سقف مجنح يرتكز على أعمدة وسطى ويبرز من الجهتين ويحتوى الجزء الأوسط على ورش الصيانة والمكاتب . أما السقف القشرى فهو من النوع المضلع المسنم (Hipped plate) . وقد استعمل هذا التصميم فى حظيرة طائرات شركة الخطوط الأهلية بميامى فلوريدا . وفى تصميم لحظائر طائرات الخطوط الجوية العالمية بكانساس سيتى ونيويورك حيث

استلزمت الضرورة مساحات أكبر ، استخدموا كابلات شد من الصلب مثبتة فى دعائم خرسانية بالجزء الأوسط من المبنى . هذه الكابلات تشد أطراف السقف ذى المضلعات المسنمة من الجانبين (شكل ٢٠٣) . ويعتبر تصميمهم للسقف الكروى المرتكز على ثلاث نقط والمغطى لمسرح معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (M. I. T.) تجربة فنية فى مجال قل ارتياده من قبل (الأشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) .

وإلى اليوم مازال الإنشاء القشرى صعب التنفيذ من الناحية العملية وباهظ التكاليف وخاصة فى مجال الإنشاء ذى الباكيات المتوسطة البحور . ويعتبر إدخال سبق التجهيز لأسقف قشرية مفردة أو مزدوجة الانحناء وثابتة الأبعاد مجال تطور لمثل هذا النوع من الإنشاء نحو التوسع فى الاستعمال ونحو سهولة وسرعة الإنشاء . وقد قام المهندس الإيطالى نيرفى بمجهودات هائلة فى هذا الاتجاه ، وما زالت مجالات التقدم والتصرف بهذه الوحدات بلا حدود . هذا وقد أصبحت القبوات القشرية السابقة الصب سهلة المنال فى كولومبيا بأمريكا الجنوبية حيث استعملها المهندسان سولانو وأورتيجا فى مشروعات عديدة . كما استعمل المهندسان ماريو سلفادورى وبول وايدلنجر وحدات سابقة الصب مزدوجة الانحناء فى تصميمهما لسوق بنيوكانان بولاية كنتكت . هذه الاستعمالات الرائدة تقود طريق المستقبل إلى الإنتاج الاقتصادى لنوع معقد من الإنشاء يتطلب درجة عالية من التخصص .

الخرسانة السابقة الإجهاد :

يرجع تاريخ ظهور الخرسانة السابقة الإجهاد إلى عام ١٨٨٦[٧] ؛ فى هذا العام سجل ب . هـ . جاكسون (P. H. Jackson) من سان فرنسيسكو مواصفات هذا النوع من الإنشاء ، وقبل ذلك اقترح المهندس الألمانى كوينن (Koenen) إعطاء منطقة الشد ضغطاً أولياً وذلك لإلغاء جهود الشد بالقطاع الخرسانى[٨] . وقد أجريت تجارب على كمرات وضعت أسياخ حديد تسليحها العادى تحت الشد فأظهرت هذه التجارب أن من الممكن بهذه الطريقة زيادة حمل الكسر فى الخرسانة فوق المعدل العادى للخرسانة المسلحة . غير أنه نتيجة لقلة المعلومات عن انكماش وزحف الخرسانة (Concrete creep) وعدم توافر الطرق العملية لتوليد قوى شد كبيرة ، لم يؤخذ بمقترحات كوئن حينئذ . واستمر الوضع إلى عام ١٩٢٣ حينما سجل اختراعان للخرسانة سابقة الإجهاد ، أحدهما لمستر ديل (R. E. Dill) من مدينة الإسكندرية بولاية نبراسكا لإنشاء وحدات خرسانية لاحقة الإجهاد ذات حديد تسليح غير مرتبط بالخرسانة ، والآخر فى فرنسا

* الكوبرى فوق نهر مارن (Marne) بالقرب من ميو (Meaux) سمكه فى القمة ٣٩ بوصة وبحره ٢٤٣ قدماً .

** هذا من أكبر الجسور « الكبارى » ذات الكمرة الصندوقية فى العالم ، ذو بحر ٣١٢ قدماً ونسبة عمق إلى بحر تساوى ١ : ٥٦

CF J.J. Closner & C. Stainer "Prestressed Concrete today" Progressive architecture, 34, Feb. 1953 P. 124.

للمهندس فريسينيه الذى أثبت أن حديد التسليح ذا القوة العالية ضرورى لنجاح عملية سبق الإجهاد .

ومنذ ذلك الحين ظهرت عدة نظم وتطبيقات للخرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد، وتطورت تدريجياً فى أوربا وأمريكا. وقد حقق هذا التطور نظرياً وعملياً إنشاء كبارى ذات نسب رشيقة وارتفاعات صغيرة مثل كوبرى إسبى (Esbey) بطريقة فريسينيه (شكل ٢٠٤)* أو الكوبرى فوق قنال نيكار (Neckar) عند هايلبرون (Heilbronn) بألمانيا** (شكل ٢٠٥) بطريقة فريتز ليون هاردت (Dr. F. Leonhardt) . وقد اشتهر المصمم الأخير بالطريقة الحديثة فى حل مسألة سبق الإجهاد الاقتصادى للكمرات المستمرة(٩) ، وقد أدخلت هذه الطريقة فى الولايات المتحدة بواسطة شركة بريلود (Preload Company)(١٠) (شكل ٢٠٦) .

فى أوربا تقدمت طرق سبق الإجهاد بالنسبة للوحدات الإنشائية الخطية ، فى حين أن سبق الإجهاد للوحدات السطحية أحرز تقدماً فى الولايات المتحدة . فبعد تجارب وبحوث واسعة بواسطة شركة بريلود بمساعدة الهيئات العلمية فى أمريكا وكندا توصلت الشركة سنة ١٩٤٣ لطريقة خاصة فى سبق الإجهاد المحيطى (Circumferential) والرأسى لحوائط الخزانات الخرسانية باستعمال سلك خاص عالى القوة (أشكال من ٢٠٧ إلى ٢٠٩). وبهذا أصبح من الممكن لأول مرة تصميم وإنشاء خزانات دائرية خالية من الشدوخ بأقطار كبيرة . وقد تم إنشاء عدد كبير من هذه الخزانات فى بقاع مختلفة من العالم باستعمال هذه الطريقة . وتغطى هذه الخزانات وغيرها من الفراغات المعمارية الواسعة (شكل ٢١٠) قباباً خرسانية قشرية ذات حلقات شد سابقة الإجهاد(١١) .

من الأسهل إنهاء عملية سبق الإجهاد فى المصنع عنها على الموقع حيث توجد المعدات اللازمة للإنتاج الجيد السريع والتى لا تتوافر على الموقع . وقد انتشرت مصانع فى أوربا وأمريكا لإنتاج عديد من الأنواع والأحجام لوحدات سابقة الإجهاد والتجهيز من بلاطات وكمرات وجمالونات . مثل هذه الوحدات تكون أخف فى الوزن وأصغر فى الحجم وأسهل فى النقل عن مثيلاتها من الخرسانة العادية .

ومن الممكن الوصول فى المستقبل إلى اقتصاد أكبر فى الشدة وسرعة فى الإنشاء بالجمع بين الإنشاء القشرى وسبق الإجهاد والتجهيز الأمر الذى يضع تحت تصرف المعمارى وحدات جاهزة سهلة النقل محددة الأبعاد من الأسقف القشرية تصلح لأكبر عدد ممكن من الاحتياجات . فالقباب القشرية الجاهزة دائرية أو مربعـة القاعدة يخف وزنها وتزداد قوة بالإجهاد اللاحق لحلقات الشد المحيطة بقاعدتها . كما ظهرت فى بولندا عام ١٩٥٨ تطبيقات عملية رائدة لأسقف مصانع على شكل قبوات قشرية طويلة مكونة من وحدات سابقة التجهيز مجمعة بالإجهاد اللاحق فى مستوى السطح المنحنى (أشكال من ٤٠٩ إلى ٤١٣) .

٥

المؤثرات الإقليميّة

أسهمت مراحل التقدم فى المواد وطرق الإنشاء والتصميم تدريجياً فى إرساء أسس ثابتة للخرسانة المسلحة كمادة إنشائية رئيسية فى أنحاء مختلفة من العالم . فموادها الخام من ركام متفاوت الأحجام ورمال وأسمنت ومياه وحديد تسليح متوافرة فى مختلف بقاع الأرض وبكميات لاتنضب . كما أنها لاتتطلب مستوى عالياً من العمالة ، مما جعلها الحل الأمثل لمجابهة الاحتياجات المتزايده للفراغات المعمارية . ومع ذلك فقد تداخلت فى كل إقليم — حسب طبيعته — عدة عوامل شكلت ما يصح أن نلقبه باتجاهات أو صور إقليمية لعمارة الخرسانة المسلحة .

عوامل المناخ : للإنشاء بالخرسانة المسلحة حساسية للأحوال المناخية المحيطة . ولهذا فإن إنشاءها وطرق معالجتها تتأثر بتغير هذه الأحوال من إقليم لآخر . ومن المسلم به أن السطح الخرسانى المكشوف يتأثر بعوامل الصقيع فى الأجواء الباردة ويتعرض للتقشرات المشوهة للسطح . ومن الطبيعى ألا تترك مثل هذه الأسطح مكشوفة فى الأجواء الباردة . غير أنه فى جميع ظروف المناخ يوجد من المعماريين المخلصين لطبيعة المادة وطرق الإنشاء من يكون على استعداد لتكبد المشاق لمعالجة الأسطح الخرسانية ليحصل فى النهاية على سطح معمارى تظهر فيه المادة الإنشائية عارية على السطح . وبالنسبة لهؤلاء تعتبر الظروف المحلية الاقتصادية ومستوى العمالة المحلية أداتين للعمارة الجيدة وليست حدوداً لها . ففى البلاد الاسكندنافية الباردة وفى المناخ المدارى فى البحر الكاريبى ، كشف المعماريون الأسطح الخرسانية لأسباب جمالية . وقد أثبتت تجاربهم أن التصميم والتنفيذ السليم للخلطات الخرسانية ينتج خرسانة مسلحة تتحمل أسطحها تفاوتاً كبيراً فى الطقس . ورغم ذلك ، ولبواعث جمالية مبنية على فلسفات أخرى ، وتساندها عوامل اقتصادية ، يلجأ معماريون آخرون إلى تغطية الأسطح الخرسانية لمبانيهم بكسوة خارجية لحمايتها . مثل هذه المعالجة تسمح باستخدام مستوى أقل من الخلطات الخرسانية والعمالة .

والقشور التى تعترى الأسطح الخرسانية تعتبر من العيوب التى تعترض سبيل استخدامها مكشوفة فى المناطق الباردة . وسيساعد اكتشاف الأسمنتات والمواد المضافة المولدة للهواء المحبوس (Air-entraining cements & admixtures) على زيادة استعمال مثل هذه الأسطح . ومع ذلك فسيبقى الاتجاه نحو تغطية الأسطح الخرسانية الخارجية بأخرى أقدر على التحمل مثل الطوب أو الألواح المعدنية . وينتشر تدريجياً رش الأسطح الخرسانية بالبلاستيك فى المناطق الشرقية للولايات المتحدة .

ويعتبر استعمال الأسطح المكشوفة للخرسانة المسلحة أوسع انتشاراً وأقل عرضة للتلف فى المناطق ذات المناخ الدافئ أو المدارى . وفى هذه الحالة يلزم توفير درجة كافية من العزل الحرارى للأسطح الخرسانية .

وقد يتوافر ذلك باستعمال الخرسانة المسامية الخفيفة والحوائط والأسقف المزدوجة ذات العازل الداخلى . وفى المناطق الجنوبية والغربية للولايات المتحدة يحقق الدهان أو البياض العزل الجوى اللازم، وينطبق نفس الوضع على معظم بلدان البحر المتوسط وأمريكا اللاتينية[1] . غير أن الحالة تختلف فى المواقع ذات الجو الرطب كما فى المدن الساحلية كريو دى جانيرو بالبرازيل فإن أسطح البياض أو الدهانات غير مرضية . وهناك انتشر استعمال أسطح صلبة للتكسية من الموزايكو أو من الزجاج المستورد من إيطاليا أو من البلاطات المدهونة المزججة أزيوليخوس (Azulejos) * وقد أصبح استخدام مثل هذه البلاطات من خصائص عمارة الخرسانة المسلحة فى البرازيل ، وتعد الدهانات والبياض والبلاطات المزججة فرصة لإضفاء الألوان على المبانى حيث يسبب اللون الأبيض أو الألوان الشديدة بالبياض توهجاً مؤلماً تحت ضوء شمس المناطق المدارية .

وقد أدت الحاجة إلى الحماية من حرارة الشمس إلى ظهور لغة معمارية غنية بالظل والنور فى عمارة المناطق المدارية ، وذلك بتطوير واسع لوسائل حجب الشمس فى زواياها المختلفة . وقد أصبحت الحواجز الشمسية التى أعطاها لوكوربوزييه لغة معمارية فى مبنى وزارة التربية والتعليم بريودى جانيرو ، وكذلك التشابيك المصنوعة من الفخار أو الخرسانة السابقة التجهيز ، مظهراً مميزاً لعمارة المناطق ذات المناخ المدارى (شكلى ٥١٢ ، ٥١٣). وفى السنوات الأخيرة أصبحت هذه الوحدات بأشكال وصور مختلفة من المظاهر الزخرفية الشائعة للعمارة فى وسط أمريكا وجنوبها وفى أفريقيا وآسيا .

العوامل الاقتصادية : يرجع تفاوت مستويات التقدم والانتشار للإنشاء الخرسانى فى البلاد المختلفة إلى أسباب اقتصادية . وقد ظهرت الخرسانة المسلحة وتطورت منافسة للمواد الإنشائية العريقة فى القدم كالأحجار والطوب والخشب ، والمواد الحديثة كالحديد الزهر والمطاوع والصلب . فالأحجار والطوب والأخشاب طال استعمالها وازدادت المعرفة والدراية بها على مر العصور . أما الحديد الزهر فقد سبق الخرسانة المسلحة بحوالى قرن . رغم ذلك فقد وضحت مزاياها مع أنها لم تزل فى مهدها عندما ظهرت كبديل لهذه المواد . وقد كللت المحاولات لتدعيم مركز الخرسانة المسلحة بالنجاح ، وخاصة فى أوربا ، لاستطاعتها تأدية نفس الدور الإنشائى للصلب تحت أغلب ظروف التحميل مع احتمالها للحريق مدة أطول . تلك هى الخاصية التى استغلها وأكدها البناؤون الأوائل بالخرسانة فى أوربا وأمريكا . وفى المنافسة الاقتصادية بين المادتين تأكدت لصالح الخرسانة المسلحة ميزة أخرى وهى قلة نفقات صيانتها بمقارنتها بالصلب . ورغم ذلك

* هذا الاستعمال إحياء لتقاليد إسبانية .

فإن التكاليف الأساسية للخرسانة المسلحة هى العامل الأساسى فى تباين شيوعها واختلاف طرق إنشائها فى البقاع المختلفة فى العالم .

والأسس الاقتصادية للإنشاء بالخرسانة المسلحة تشمل ركنين رئيسيين : الأول توافر المواد الخام وتكاليفها ، والثانى تكاليف العمالة الداخلة فى التصنيع والإنشاء، وخاصة العمالة الماهرة اللازمة لعمل الشدات المعقدة ورص الحديد وصب الخرسانة . وهنا تبرز أهمية الأحوال الاجتماعية والاقتصادية المحلية ومدى تأثيرها فى انتشار الإنشاء الخرسانى ، وبالتالى تأثيرها على الصورة التى تشكل عليها هذا الإنشاء والاتجاه العام الذى يتطور نحوه فى الأعوام المقبلة .

فى البلدان المتقدمة ذات الإنتاج الوفير من الصلب وذات المستوى العالى من المعيشة المادية كأمريكا وإنجلترا ، نجد أن الصلب الإنشائى يستعمل فى أغلب المشروعات الإنشائية نظراً لتوافره أولا ، ولخضوعه لسبق التصنيع ، ولما يتطلبه من نسبة ضئيلة من العمالة على الموقع . كما ساعد انتشار الأخشاب والطوب فى الولايات المتحدة على انتشارها فى ميدان إنشاء المساكن الخاصة ، وهى الغالبية بين الوحدات السكنية فى أمريكا ، وفى إنشاء المبانى التعليمية .

وقد ازداد معدل ارتفاع أسعار المواد والعمالة وتكاليف المبانى عامة فى أغلب دول العالم بعد الحرب العالمية الثانية، وقد أوزدنا فى (شكل ٢١١) معدلات الزيادة فى الولايات المتحدة والجمهورية العربية المتحدة كممثلين للدول المتقدمة والدول النامية . وبالنسبة للولايات المتحدة نجد أن أجور العمالة على الموقع قد ارتفعت بمعدل أسرع من معدل ارتفاع أسعار المواد . وقد كان لهذه الظاهرة أثران هامان : أولهما اتجاه الإنشائيين إلى التقليل من العمل اليدوى فى الإنشاء والتشطيب* والاتجاه إلى حذف الزخارف ، وثانيهما ازدياد استعمال المواد المصنوعة فى المصانع الجاهزة للتركيب مباشرة على الموقع . هذه الظاهرة إذا ما أضيفت إلى الظواهر السابقة ساعدت على بطء معدل انتشار الإنشاء الخرسانى فى أمريكا فيما عدا استعماله فى أعمال الرصف والأعمال المائية . وفى هذه الاستعمالات القليلة نجد أن الاتجاه الأمريكى نحو تقليل ساعات العمل واضح حتى وإن كانت النتيجة زيادة فى المواد أو تضحية من الناحية الجمالية . هذا الاتجاه عبر عنه المهندس الأمريكى هيل (G. Hill) فى مرحلة مبكرة (عام ١٩٠٢) بقوله :

* يظهر (شكل ٢١١) أن معدل الارتفاع فى تكاليف رصف الطرق أقل بكثير من معدل الارتفاع فى تكاليف المبانى ، وذلك نظراً لتطوير معدات الرصف والتسوية الميكانيكية على نطاق واسع .

« فى كل الأعمال التى تقام فى أمريكا نجد أنه من الضرورى ، إما استعمال أرخص العمالة وإما استخدام عمال مهرة بطريقة تضمن تأديتهم لكميات أكبر من الإنتاج بالنسبة للعامل الأوربى فى كل الحالات »[٢] .

والتطبيقات الأمريكية بالخرسانة المسلحة ، كنتيجة لهذا الاتجاه ، لم تكن جريئة كبعض الأمثلة الأوربية [٣] . والقطاعات الرفيعة ذات الميزة الاقتصادية فى أوربا تكون فى بعض الأحيان غير مأمونة العواقب إذا ما نفذت بساعات عمل أقل فى الولايات المتحدة . وقد عبر نفس المهندس الأمريكى عن هذا بقوله :

« فى أى تصميم إنشائى هندسى يفضل بدون شك التصميم الذى لاتشكل العيوب الطفيفة فى التنفيذ خطورة على سلامة المنشأ ، ولهذا السبب لانجد إلا عدداً قليلا من المهندسين الأمريكيين يتبع نفس الاتجاه الذى اتبعه كثير من المهندسين الأوربيين فى تصميمهم « للكبارى » ذات السمك الرقيق عند قمة العقد بحيث إن وعاء واحداً من خرسانة معيبة قد يعرض سلامة المنشأ كله للخطر »[٤] .

غير أنه نتيجة لارتفاع أسعار الصلب الإنشائى أثناء وبعد الحرب العالمية الثانية والحرب الكورية وجدت الخرسانة المسلحة — وخاصة فى الأجزاء الغربية والجنوبية من الولايات المتحدة — ميداناً أفضل للتنافس . وقد تحسن موقفها بالنسبة للصلب الإنشائى نتيجة للمزايا الاقتصادية التى صاحبت التطورات الحديثة فى الإنشاء القشرى وسبق الإجهاد . وقد أجرت شركة أمان وويتنى عام ١٩٤٩ مناقصات مقارنة على أسقف من الصلب غير محمية من الحريق ، وأخرى من الصدفات القشرية ، لإنشاء سقف مفرد الانحناء ذى بحر قدره ٢٨٦ قدماً لقاعة اجتماعات لمدينة مونتجمرى بألباما . وقد بلغت قيمة السقف الصلب ٥٩٩,٠٠٠ دولار ، فى حين بلغت قيمة السقف الخرسانى ٥٧٧,٠٠٠ دولار . وكانت مدة التنفيذ ٥٠٠ يوم للخرسانة بجانب ٧٣٠ يوماً للصلب[٥] أى بوفر وقت قدره ٥٠٪ . هذا المثل يفسر لنا بوضوح أسباب الاتجاه الحديث نحو الإنشاء الخرسانى للبحور الواسعة فى حظائر الطائرات والمسارح والساحات ومحطات الوصول الجوية . وقد تم إنشاء عدد كبير منها ، أو هو تحت الإنشاء .

وفى الأحوال الاقتصادية والاجتماعية المتقدمة فى دول أوربا وأمريكا يتجه التطور بالإنشاء الخرسانى نحو سبق التجهيز حيث تؤيده نتائج اقتصادية محققة وخصوصاً على النطاق الواسع للإنشاء . فسبق التجهيز يحول الغالبية العظمى للعمالة من الموقع إلى المصانع حيث تخضع للرقابة والتنظيم الصناعى الذى

يكفل زيادة الإنتاج . وتبعاً لإحصاء أمريكي (انظر الجدول التالى) نرى أن متوسط أجر عامل الخرسانة فى المصنع حوالى ٦٨٪ من أجر العامل بشركات المقاولات على الموقع . وتعتبر أجور عمال الخرسانة المهرة كالحدادين والنجارين أعلى أجور بين عمال الإنشاء عموماً .

الأجر الإجمالى لعمال الإنتاج فى الولايات المتحدة *

من ١٩٥٠ — ١٩٥٢

	متوسط الأجر الأسبوعى بالدولار			متوسط ساعات العمل الأسبوعية			متوسط أجر الساعة بالدولار		
	١٩٥٠	١٩٥١	١٩٥٢	١٩٥٠	١٩٥١	١٩٥٢	١٩٥٠	١٩٥١	١٩٥٢
عمال شركات الإنشاء	٧٣,٧٣	٨١,٤٨	٨٨,٠١	٣٦,٣	٣٧,٢	٣٨,١	٢,٠٣١	٢,١٩	٢,٣١
عمال مصانع الخرسانة والجبس والمصيص	٦٢,٦٤	٦٨,٢٥	٧٠,٦٥	٤٥,—	٤٥,٢	٤٥,—	١,٣٩٢	١,٥٠	١,٥٧

هذه الأجور الأقل لعمال المصانع التى يصاحبها وفر واضح فى ساعات العمل ، لكميات إنتاج متماثلة ، نتيجة لتطبيق نظام خطوط الإنتاج ، يساعد على خفض تكاليف العمالة اللازمة لإنتاج الوحدات الخرسانية . وقد وردت تقارير من الولايات المتحدة وكندا تؤيد ذلك . فمن كندا يقرر مقاول مسرح نيوافينيو (New Avenue) فى مدينة ادمونتن البرتا (Edmonton Alberta) أن وفراً يقدر بنسبة ٥٢٪ قد حدث نتيجة لاستعماله هياكل سابقة الصب ذات بحر ١١ قدماً و ٥ بوصات بواجهة المبنى[٦] ، كما قرر أن وفراً قدره ٦٩ ٪ فى العمالة وكميات الأخشاب اللازمة للشدات الخاصة بالهياكل سابقة الصب غير المحللة استاتيكياً (Statically indeterminate) والمستعملة فى سقف المسرح ذاته . هذا الوفر يجب إنقاصه إلى ٥٠٪ إذا وضعنا فى الحساب زيادة التكاليف فى القواعد الخاصة بأساسات الأعمدة[٧] . كما أثبتت البحوث التى قام بها روجرستار وبنتر (Roger Starr &Pinter) المقاولان لمدرسة ابتدائية لمدينة نيويورك قبل إنشائها أن سبق الصب لعشر كمرات بطول ٥٨ قدماً ، وثمان كمرات بطول ٥٢ قدماً ، يحقق وفراً قدره ٣٠٪ عن مثيلاتها المصبوبة على الموقع[٨] . ومع هذا الوفر الملحوظ فى سبق التجهيز فإن الملاحظ أن سبق التجهيز

* المصدر : (Stastical Abstract : 1953) صفحة ٢١٦ جدول رقم ٢٣٣ .

الكامل للمجموعات السكنية أقل انتشاراً فى الولايات المتحدة عنه فى جميع أجزاء أوربا والاتحاد السوفييتى ، إلا أن التجارب فى أمريكا فى هذا السبيل قائمة على قدم وساق . وهنا نجد أن عاملا هاماً يتدخل لعرقلة هذه المجهودات نحو نشر سبق التجهيز فى المصنع ، وهذا العامل هو تأثير نقابات عمال البناء الأمريكية القوية ضد انتشار استعمال الوحدات الجاهزة بمختلف أنواعها . غير أن هذا لم يوقف بعض الاتجاهات نحو سبق التجهيز الجزئى لكمرات خرسانية مع عمل اللحامات بوصلات الصلب ، ولبلاطات سابقة الصب على الموقع أو فى مواقع قريبة تسمح بذلك . كما انتشر فى الولايات المتحدة استعمال الوحدات الجاهزة السابقة الجهد للإمكانيات التى تتيحها فى البحور الواسعة بالأعماق المحددة . كما انتشر استعمال الإجهاد اللاحق فى ربط الوحدات السابقة الصب من هياكل وأعمدة وكمرات . كذلك ظهرت وتطورت فى الولايات المتحدة الشدات الزاحفة أو القافزة للأبراج السكنية والمكتبية العالية ، وهى الطرق السابق بيانها لإنشاء القالب الذى يحتوى على الخدمات وعناصر التوزيع ، كما ظهرت طرق البلاطات والقباب المرفوعة ، وأغلبها طرق لاتلغى العمالة على الموقع ، بل تضمن زيادة إنتاجها وتحسين إدارة العمليات . ومن مظاهر التطور الأمريكى اتجاه الخلط الخرسانى نحو سبق التجهيز . فنسبة عالية من الخرسانة المستعملة فى العمليات الإنشائية تورد إلى الموقع جاهزة للصب فى الحالة والميعاد المطلوبين .

أما بالنسبة لأوربا الغربية فقد تعرضت مناطق كثيرة منها بعد الحرب العالمية الثانية لنقص فى العمالة وبالذات العمالة الماهرة . ومن الطبيعى أن يتطور الإنشاء الحديث لسد هذا النقص . وقد كانت فرنسا ، التى عانت من هذا النقص منذ سنة ١٩٤٥ ، أول دولة فى أوربا تطبق طرق سبق التجهيز بالخرسانة وتلتها فى هذا الاتجاه ألمانيا والدول الإسكندنافية . وقد كانت ظروف الطقس القاسية بالنسبة للدول الشمالية حافزاً أقوى نحو هذا التطور . وعلى العكس كان التطور حديثاً وبسرعة أقل بالنسبة للدول التى لم تعان نقصاً فى العمالة كإيطاليا وإسبانيا ، ولمدى محدود إنجلترا .

وكنتيجة للظروف الاقتصادية السابقة انتشرت فى أوربا الغربية طرق عديدة لسبق التجهيز الخرسانى الثقيل لبانوهات كبيرة للحوائط والأسقف على مقاسات من أجزاء من غرفة أو بمقاسات غرفة أو غرفتين كاملتين . كما صنعت بالكامل قلبات السلالم ووحدات التخزين والصرف والخدمة من حمام وتواليت ومطبخ ، كما فى طريقة هارت (Heart) فى السويد . إلا أن مزايا سبق التجهيز الكامل لغرف كاملة لم تتضح بعد للشركات الغربية ، كما هو الشأن فى أوربا الشرقية . وسبق التجهيز كما شرحت تفصيلاته بالفصل الثالث يتم فى أوربا الغربية على اتجاهين :

الاتجاه الأول : وهو الأكثر انتشاراً، هو أن تتخصص شركات كبيرة فى صنع كل الوحدات المستعملة فى مصانع متخصصة كما تقوم بتركيبها على الموقع . ففى فرنسا نجد شركات كثيرة على هذا النمط منها بوين (Boynes) وكوڤيه وباريه واستيوت وكورنيه (Corgnet) وكامو وغيرها . وفى السويد نجد طرق بولمورا (Bollmora) ولينج كوبنج وجوتنبرج (Gothenburg) وهارت وغيرها وفى الدنمارك لارسن ونيلسون (Larson & Nilson) وفى هولندا طرق ڤام (Vam) وب. م. ب. (B.M.B.) وشوك كونكريت (Shock Concrete) وروتنجهيوس (Rottinghuis) إلخ . وفى إنجلترا ظهرت طرق لينج (Laing) وانترجرد وبيزون والبلاطات المرفوعة وريما وج — ٨٠ إلخ . وقد أنشأت بعض هذه الشركات فروعاً ووكلاء فى هولندا وألمانيا وإيطاليا والنمسا وإنجلترا وإسبانيا. وتستعمل أغلب الطرق السابقة طريقة بانوهات الحوائط الفعالة، ومن النادر استعمال طريقة الأعمدة والكمرات كما فى طريقة كالتون Kallton فى الدنمارك مثلا . كما تشترك دول أوربا الغربية فى استعمال اللحامات المصبوبة على الموقع (Wet Joint) فى حين تفضل الاتجاهات بروسيا ودول أوربا الشرقية اللحامات الجافة .

والاتجاه الثانى وهو سبق التجهيز على الموقع وهو على صلة كبيرة بالاتجاه الأول . وقد تطور فى فرنسا وسويسرا والسويد ويتوقف اختيار أى الاتجاهين على احتمالات الطلبات المستمرة على الإنتاج فى منطقة معينة . والاتجاه الثانى مناسب لمشروعات المبانى متوسطة الحجم بعدد أقل من مائتين وحدة فى حين أن الإنتاج فى المصانع المتخصصة يتطلب سوقاً تحتاج إلى مئات الوحدات سنوياًّ على الأقل لعدد من السنين [٩] .

وقد انتشر الإنشاء الخرسانى عامة فى روسيا [١٠] ودول أوربا الشرقية وتدل على ذلك إحصاءات الزيادة الكبيرة فى إنتاج الأسمنتات بين عامى ١٩٥٠ ، ١٩٦٠ . ففى روسيا ازداد إنتاج الأسمنت فى هذه الفترة بنسبة ٤٤٦ ٪ ، وفى رومانيا — على سبيل المثال — بنسبة ٢٩٦ ٪[١١]. كما أدى الاحتياج الشديد السريع إلى الإسكان بعد الحرب العالمية الثانية إلى الاتجاه بقوة وبطريقة فعالة مخططة إلى الطرق الصناعية فى الإنشاء عامة ، وفى الإنشاء الخرسانى على وجه خاص ، مع محاولات جادة لإنقاص وزن المبانى وزيادة حجم الوحدات الجاهزة . وقد قامت صناعة جديدة فى الاتحاد السوفييتى ، وهى تشمل أعداداً كبيرة من المصانع المتخصصة فى بناء المساكن فى أنحاء متفرقة من البلاد، حتى أصبح سبق التجهيز هو الإنشاء السائد فى المساكن والمصانع ، والصب على الموقع لخرسانة المبانى العامة فقط . وقد صاحب ذلك استعمال مواد جديدة للعزل الصوتى والحرارى وعزل المياه ونهو الأسطح .

ومنذ عام ١٩٥٠ حتى عام ١٩٦٠ ازداد إنتاج الوحدات الخرسانية الجاهزة فى روسيا بنسبة ٢٤ مرة حتى بلغ فى عام ١٩٦٠ – ٣٢ مليون متر مكعب . وقد وصل هذا الرقم إلى ٥٥ مليون متر مكعب سنة ١٩٦٥ . من هذا الإنتاج ١٤ مليون متر مكعب من وحدات خرسانية سابقة الإجهاد ، وتسعة ملايين ونصف مليون متر مكعب من بانوهات الحوائط ، وثلاثة ملايين ونصف مليون من وحدات خرسانة السليكات . كما حققت دول جمهوريات ألمانيا الديمقراطية وبولندا وتشيكوسلوفاكيا تقدماً مرموقاً فى هذا المجال . ومن الطبيعى أن يصاحب هذا التقدم فى تصنيع الخرسانة ازدياد فى استعمال الخرسانة خفيفة الوزن التى تصنع من الركام المسامى (الخرسانة ذات الخلايا Cellular) مع تقدم صناعة الخرسانة الغازية عن طريق تطوير خرسانة السليكات[١٢] . كذلك حدث تطور كبير فى الركام الصناعى خفيف الوزن باستعمال الصخر المسامى والبقايا الصناعية وقد بلغ مجموع إنتاج الركام الصناعى خفيف الوزن فى الاتحاد السوفييتى ودول أوربا الشرقية عام ١٩٦٥ – ٢١,٢٤٠,٠٠٠ متر مكعب[١٣] .

وفى المبانى السكنية بالاتحاد السوفييتى حلت الخرسانة السابقة الصب تماماً محل الخشب والخرسانة المصبوبة فى الموقع فى الأسقف والسلالم . كما تحل باطراد محل الأحجار وخرسانة الدقشوم فى الأساسات الخرسانية . وقد بلغ مسطح الإنشاء الإسكانى بالوحدات الجاهزة كبيرة الحجم فى الاتحاد السوفييتى عام ١٩٦٠ ثلاثة ملايين متر مسطح . كما بلغ ٢٥ مليون متر مسطح فى إحصاء عام ١٩٦٥ . وفى هذا المجال يحتل الاتحاد السوفييتى المكان الأول فى العالم . والاتجاه واضح نحو زيادة حجم البانوه السابق الصب ، فبين عامى ١٩٤٧ و ١٩٥٠ كان متوسط مسطح البانوه من ٤م٢ إلى ٤,٥م٢ ، واليوم انتشر استعمال بانوهات بمسطح من ١٦م إلى ١٨م٢ للحوائط الداخلية ومن ١٢م إلى ١٣م٢ للحوائط الخارجية . وقد عرضنا سابقاً مراحل التطور الصناعى نحو تصنيع حجرات بأكملها ، ولو أنها ما زالت تحت الاختبار . هذا التطور سيسمح بانتقال نسبة كبيرة من العمل إلى المصانع . وقد أدى هذا التطور المتقدم نحو التصنيع إلى نقص ملحوظ فى وزن الوحدات الإنشائية ووزن المنشأ بكامله ، وبالتالى نقص فى تكاليف النقل . كما أدى إلى وفر فى العمالة وفى تكاليف ووقت الإنشاء ، وإلى ارتفاع فى مستوى الخدمات فى المبانى ، وبالتالى نقص فى تكاليف الصيانة .

والخرسانة المسلحة بالنسبة للدول النامية فى أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية تعتبر من الناحية الاقتصادية المادة الإنشائية المثالية للاستعمال فى الأسقف ، وبخاصة بالنسبة للمبانى السكنية المتعددة

الأدوار والمبانى الصناعية . وبعض هذه البلاد يعانى من نقص الأخشاب الإنشائية وأحجار البناء كما هو الشأن فى بلاد أمريكا اللاتينية . كما يعانى البعض الآخر نقصاً فى صناعة الصلب الإنشائى ؛ الأمر الذى يستوجب استيراده بأسعار باهظة . هذا بالإضافة إلى أن توافر الأيدى العاملة الرخيصة يجعل من الخرسانة المسلحة الحل المثالى المطلوب . وبالاستمرار فى استعمالها سيتم تدريب العمال المهرة من نجارين وحدادين للوصول بصناعتها للإتقان المطلوب . كما أن الحاجة إلى أسياخ التسليح بالإضافة إلى زيادة الإمكانيات الصناعية قد شجعت بعضاً من هذه الدول على قيام صناعة محلية لأسياخ التسليح . وقد بدأت مثل هذه الصناعة فى كثير من دول أمريكا اللاتينية وفى اليابان ، ومؤخراً فى دول الشرق الأوسط ومنها الجمهورية العربية المتحدة وتركيا .

وتتعرض مثل هذه البلدان لمناقشات وتباين فى الآراء بخصوص إدخال التصنيع فى الإنشاء الخرسانى . فالميزة المقرونة بسبق التجهيز وهى الوفر الذى يحققه فى العمالة على الموقع لاتستفيد منه البلاد النامية لانخفاض مستوى الأجور نتيجة لتوافر الأيدى العاملة . وهنا يجدر بنا أن ننبه إلى تطور واضح ملموس فى معدلات الزيادة فى الأجور فى الجمهورية العربية المتحدة كممثلة للدول النامية (شكل ٢١١) حيث نجد ارتفاعاً فى الأجور فى السنوات العشر الماضية يزيد عن ٣٥ ٪ وهو معدل يزيد كثيراً على الزيادة فى مواد البناء التى بلغت ٢٣ ٪ فى نفس الفترة . وهذا يعنى أن أى وفر فى الأيدى العاملة بزيادة الإنتاج عن طريق التصنيع سينتج عنه وفر كبير فى التكلفة النهائية للمشروعات الإنشائية .

كذلك تظهر اعتراضات على سبق التجهيز فى البلاد النامية لعدم توافقه مع مستوى الإمكانيات الصناعية المحلية . فسبق التجهيز بمعناه السائد لدى العامة وغير المتخصصين من المهندسين والمخططين يتطلب مصانع على درجة عالية من الكفاية موزعة توزيعاً جغرافيًّا لتخدم احتياجات ضخمة بوسائل مواصلات متطورة فى شوارع واسعة ممهدة . كما يتطلب على الموقع وسائل ميكانيكية من روافع ضخمة ذات حمولات كبيرة ترفع الوحدات الجاهزة الثقيلة وتجمعها فى مواضعها النهائية بواسطة عمال مهرة وتحت إشراف فنى وإدارى دقيق متطور . تحت هذا المعنى المحدود لسبق التجهيز الخرسانى يكون اعتراض الدول النامية على هذا التطور — على أساس أنه سابق لأوانه وغير ممكن عمليًّا وغير محقق لأغراضه الاقتصادية — اعتراضاً سليماً . ولكن من الواجب هنا أن يدرك المخططون أن هذه الدرجة من سبق التجهيز الثقيل تمثل مرحلة متقدمة قد لاتحتاج الدول النامية إليها فى حل مشكلاتها الإنشائية قبل بلوغها مرحلة متقدمة من التطور الصناعى . وهنا تجدر الإشارة إلى أن أغلب الدول النامية قد استعملت فعلا وبكفاية اقتصادية سبق

التجهيز فى أبسط مراحله على مستوى الطوبة والبلوكات الخرسانية بأنواعها المختلفة . وبين الطوبة وسبق التجهيز الكامل مراحل مختلفة يجب أن يتطرق إليها البحث ، ويجب أن تتجه إليها التجارب الجادة فى هذه الدول للوصول إلى حلول سليمة وممكنة على طريق التصنيع الذى لامفر منه ولا مجال للتشكيك فى فوائده المادية .

وهنا قد يتجه الباحثون إلى الوصول إلى طرق إنشائية لسبق التجهيز على الموقع وخاصة فى حالة المجموعات السكنية الكبيرة ، مع استعمال وحدات صغيرة الحجم خفيفة الوزن فى حدود إمكانيات الحمل اليدوى (١٠٠ كجم للوحدة) أو الحمل الميكانيكى الخفيف (٥٠٠ كجم للوحدة) . والبلوكات الخرسانية بأحجامها المختلفة الصغيرة والكبيرة والتى تبنى بها الحوائط فى صفوف أفقية قد تحل محل « بانوهات » الحوائط الجاهزة وما ينتج عنها من صعوبات الإقامة وما تتطلبه من معالجات للوصلات الرأسية . كما أن الأسقف التى تجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع والسابق شرحها فى الفصل الثالث تهيئ حلا سهلا ميسوراً يحقق الوفر المطلوب فى الشدات الخشبية والاستمرار المادى الذى يميز الإنشاء الخرسانى . ومن الواجب ألا ينسى الباحث أن سبق التجهيز يحقق وفراً لاشك فيه فى كميات الخرسانة والحديد والأخشاب المستوردة اللازمة للشدة. مثل هذا الوفر تحتاج إليه البلاد النامية أكثر من غيرها لبناء اقتصادها القومى ، ويجب أن يكون عاملا أساسيا فى الاتجاه إلى سبق التجهيز . هذا بخلاف ما يحققه من وفر نهائى قد تتدخل فيه عوامل أخرى من صعوبة النقل وندرة المهارات المتدربة على مثل هذا النوع من الأعمال ، وجميعها صعوبات تخف وتزول بعد الشروع العملى فى التنفيذ وبعد بحث وتخطيط سليمين لأنسب الطرق وأصلحها للظروف المحلية .

وبازدياد تجربة الدول النامية بسبق التجهيز فى مراحله الأولى تتكون المهارات الفنية والعمالية اللازمة للانتقال إلى مراحل سبق تجهيز وحدات أكبر حجماً . مثل هذه الخطوات نحو تصنيع الإنشاء الخرسانى والمبانى عامة هى الحل الأمثل نحو الوفر فى مواد البناء والعمالة وسرعة التنفيذ وجودته لمجابهة احتياجات متزايدة للفراغات المعمارية .

العوامل الاجتماعية : يتوقف انتشار الخرسانة المسلحة وتطورها فى بلد من البلدان على عدة عوامل اجتماعية بجانب العوامل الاقتصادية الهامة السابق مناقشتها . فالقبول العام والحكومى والفنى للمادة كان ولا يزال من ضمن هذه العوامل الاجتماعية المؤثرة فى مدى انتشارها . فالاكتشافات الأولى التى قامت بها بعض الدول قد شجعتها على أن تجعل استمرار القيادة العملية فى هذا المجال مسألة قومية . فى فرنسا حيث

تمت مراحل متقدمة من التطبيقات الفنية والمعمارية للخرسانة المسلحة أصبحت المادة تقليداً قوميا وأصبح تقدمها بمختلف فروعها واجباً وطنياً . ومع أن دور البرازيل فى تطور العمارة الحديثة عامة والخرسانة المسلحة خاصة قد ابتدأ متأخراً فإن الدوائر العامة والمتخصصة قابلتها بتحمس شديد . وقد عين وزير التعليم البرازيلى جوستاف كوبانيما (Gustave Copanema) المهندس لوكوربوزييه مستشاراً للمسقط العام للمدينة الجامعية فى ريودى جانيرو . وقد عمل معه قادة المعماريين البرازيليين لوسيوكوستا (Lucio Costa) واوسكار نيماير (Oscar Niemeyer) وافونسو ريدى (Affonso Reidy) . وقد أثر لوكوربوزييه على هذه المجموعة التى وضعت التصميمات النهائية لمبنى وزارة التعليم فى ريودى جانيرو . وفى هذا المبنى وُضعت أسس العمارة البرازيلية الحديثة بالخرسانة المسلحة .

وقد كانت للتجارب الأولى الفاشلة للمبانى الخرسانية فى بعض البلدان، نتيجة للإهمال وعدم التجربة، أثر سلبى فى اتجاهات الجمهور والمسئولين نحو المادة الجديدة ، وبخاصة إذا وجدت مادة إنشائية بديلة . ومن الطبيعى أن تكون شركات إنتاج الصلب الإنشائى ومقاولوه على قائمة المعارضين للإنشاء الخرسانى ، كما انضمت إلى قائمة المعارضين نقابات عمال الصلب الذين يعتمدون عليه فى معاشهم . مثل هذه المعارضات وجدت فى إنجلترا فى أوائل القرن العشرين بين أغلب المهندسين الاستشاريين والمكاتب الحكومية المتخصصة(١٤) ولم تختلف الحالة عن ذلك فى الولايات المتحدة ، الأمر الذى أدى إلى تأخر تطور الإنشاء الخرسانى فى هذين البلدين .

وللنواحى الاجتماعية دخل كبير فى تباين تطور الإنشاء الخرسانى نحو سبق التجهيز فى مختلف بقاع العالم . فمن ناحية نجد أن الاحتياج العالمى السائد للمبانى لسد النقص العام فى الإسكان قد شجع التطور إلى تصنيع الإنشاء الخرسانى لما يحققه ذلك من وفر فى وقت الإنشاء كنتيجة لتوحيد الشكل والمقاسات ولسبق إعداد عناصر المبنى . ومن ناحية أخرى نجد أن التطور نحو التصنيع قابلته مشكلات اجتماعية متباينة . ففى الدول المتقدمة والتى سبق أن قامت فيها لعشرات السنين خبرات للإنشاء الخرسانى على الموقع ، عارضت اتحادات العمال الإنشائيين مثل هذه الاتجاهات نحو التصنيع ، كما عارضها بعض المخططين الاجتماعيين فى الدول النامية على اعتبار أنها ستسبب تعطلا للعمال ، وفى هذا مشكلة اجتماعية كبيرة لبلاد تزيد فيها الأيدى العاملة على المطلوب . وقد ناقش المؤتمر الثانى للاتحاد الدولى للبناء (C.B.I.) والمنعقد فى كامبردج عام ١٩٦٢ ، هذه المشكلات الاجتماعية التى تصاحب التقدم فى المواد والطرق الصناعية . ومما قرره مستر ويفر (Weaver) — السكرتير العام للاتحاد القومى لنقابات عمال البناء

بإنجلترا — أنه لا مبرر لهذه المعارضة من جانب عمال البناء بسبب قدرتهم على التشكيل والعمل بعدة مواد وبعدة طرق ، فالعامل فى البناء نجده يعمل بالبلاستيك وبالمعادن وبوحدات الخرسانة الجاهزة وبعدة مواد وماكينات مستحدثة . وقد لاحظ مستر ويفر اتجاه نقابة السباكين بإنجلترا بمحض إرادتها إلى إعطاء دروس فى اللحام لأعضائها من السباكين . كما قرر أنه ظهر بوضوح فى المؤتمر المنعقد فى عام ١٩٥٩ للاتحاد العام لعمال البناء فى إنجلترا أن أعضاء الاتحاد قادرون على مقابلة أى ظرف مستجد قد يقابلهم فى صناعتهم ، وأنهم على ثقة بأنهم لن يعجزوا أمام أى مواد أو طرق صناعية جديدة . كما قرر أن معارضات النقابات العمالية لم تكن ضد التغيير نفسه بل ضد طريقة تقديمه . كما كرر ظنونه أنه حتى فى أيامنا المتقدمة هذه فما زالت النظرة إلى العمال كوحدات للطاقة الميكانيكية تهمل فى حالة اتخاذ أى قرارات صناعية ، حتى إذا كانت ذات تأثير حيوى فى مستقبلهم . وهو على ثقة بأنه إذا اهتمت الإدارة العليا بمنح الثقة اللازمة بالمناقشة مباشرة مع العمال أو ممثليهم فإن أى معارضات أو توجسات قد توجد نتيجة لعدم المعرفة الكاملة بما تعنيه تماماً هذه التغييرات المصاحبة للتصنيع ستزول بالمصارحة الكاملة[١٥] .

أما بالنسبة للدول النامية فالاتجاه إلى التصنيع الخرسانى يجب أن يكون بطبيعة الظروف الصناعية على مراحل متباعدة مبتدئا بالجمع بين سبق التجهيز على الموقع والخرسانة المصبوبة على الموقع إلى سبق التجهيز بالمصانع . ويتم فى هذه المراحل تحويل المتوافر من العمالة على الموقع إلى المصانع ، سواء فى الصناعات الإنشائية أو غيرها من الصناعات المتطورة ، مع ما يصاحب العمل فى المصانع من استقرار فى الأجر وساعات العمل والجو وامتيازات أفضل فى العمل .

العوامل القانونية :

تمتع أوائل المستعملين للخرسانة المسلحة بحرية لا حدود لها فى استخدامهم للمادة ، إذ لم تكن هناك مجموعات القوانين أو التنظيمات المقيدة لاستخدامها . ونتيجة لذلك تحققت مشروعات جريئة مثل عقود مونييه وكبارى مايار . ومن ناحية أخرى صاحبت هذه الحرية نتائج فاشلة امتلأت بها النشرات المتخصصة وغير المتخصصة ، وكان على السلطات أن تتدخل لسن اللوائح والقوانين لتنظيم استعمال الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية . وهنا انعكست الاتجاهات الرسمية المتباينة نحو المادة على قوانينها المحلية . ومن هذه القوانين القانون الإنجليزى الخاص بالبناء داخل المدن لعام ١٩٠٥ الذى صيغ بحيث يجعل من المستحيل البناء بالخرسانة المسلحة بطريقة تحقق الاقتصاد المطلوب من مادة إنشائية كهذه[١٦] .

وقد تحسنت القوانين واللوائح الخاصة بالمادة ، ومع ذلك فما زال هناك تباين ملحوظ فى قوانين البناء بالنسبة للدول المختلفة . فاعتماد الحمل الأقصى للتصميم فى قوانين البرازيل والاتحاد السوفييتى سبق بمراحل القوانين الإنجليزية والأمريكية التى ما زالت تعمل بجهود التحميل . والجهود العليا للصلب والخرسانة مازالت تحدد على أساس أقل جودة للمواد وعلى أساس مستوى عمالة منخفض . كما تنص المواصفات على خلطات الخرسانة بالحجم وليس من حيث القوة ، وأقل نسبة للأسمنت . مثل هذه النظريات الخاطئة فى القوانين تحد دائماً من الحوافز نحو التقدم الفنى فى استعمال المادة .

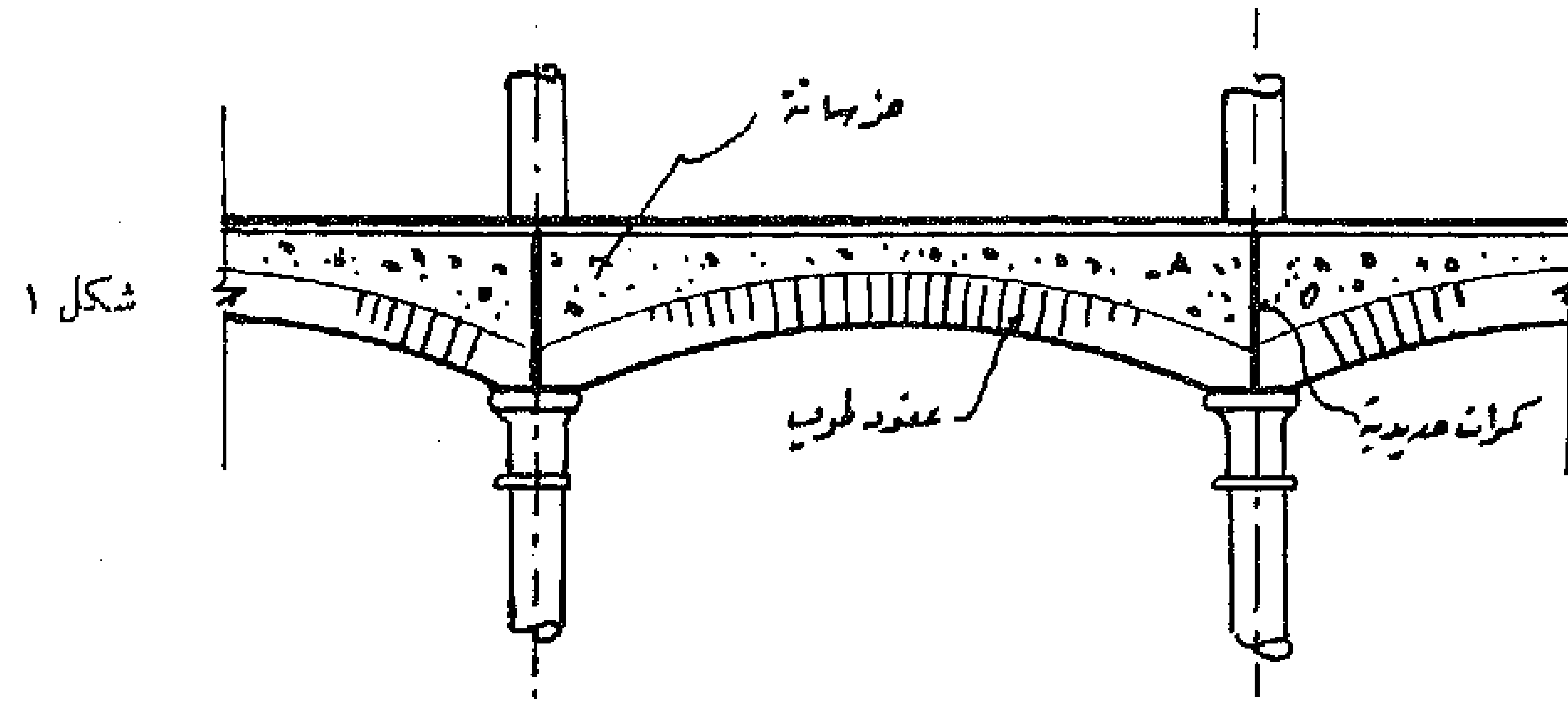
ويؤدى تعدد القوانين واللوائح من جزء إلى آخر فى نفس البلد إلى بلبلة ليس فقط للجمهور بل للمتخصصين أيضاً . ولا توجد أسباب تحول دون توحيد القوانين المنظمة للعمل للقضاء على هذه الفوضى ، وقد قدمت الدراسات الإنشائية الإنجليزية رقم ٨ بعد الحرب التوصية التالية للمملكة المتحدة :

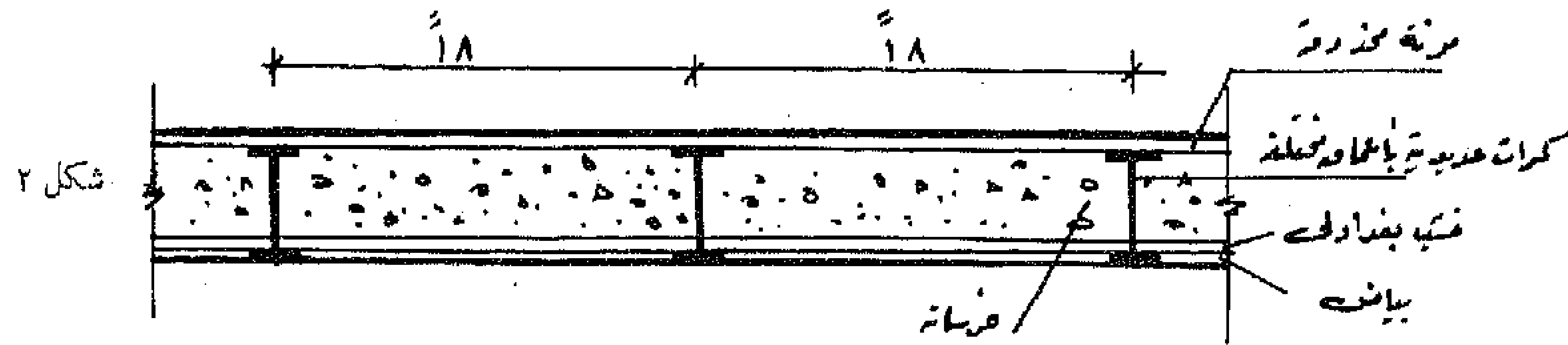
« أن يعد قانون جديد لتنظيم الإنشاء بالخرسانة المسلحة ، ومن الأفضل أن يكون على مستوى قومى وأن يضمن القانون حق التعديل مع نشر أى تعديل تم الموافقة عليه »[١٧]

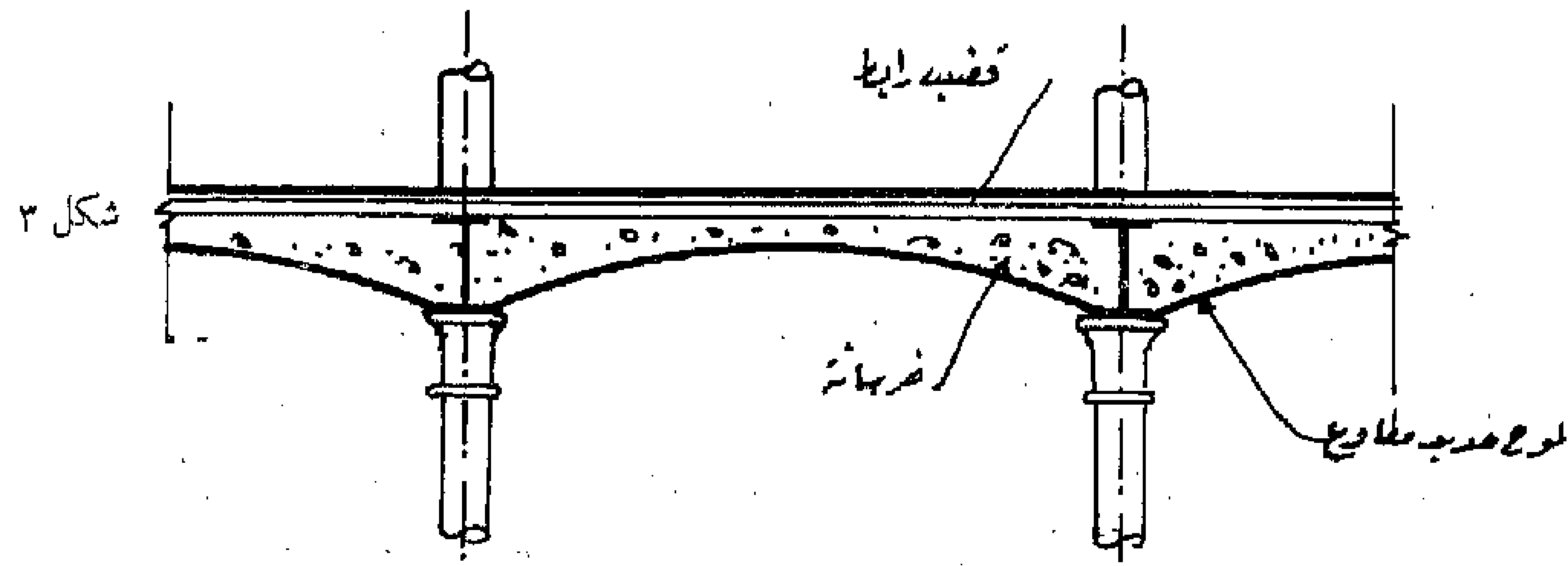
كما أوصت بأن « تتم مراجعة للقانون كل ثلاث سنوات كما تدمج فيه أى تعديلات حتى يتم تعميم استعمالها وأن يكون القانون سارى المفعول فى جميع اتحاد المملكة المتحدة »[١٨] .

وبهذه المرونة التى تضمنها حق التعديل لن تصبح القوانين عقبة خطيرة فى طريق التطور الإقليمى للخرسانة المسلحة .

رسومات وصور
الجزء الأول







الحديد والخرسانة —

أمثلة أولى لاستعمالهما معاً

(شكل ١) كمرات بأعمده حديدية بينها عقود من الطوب وخرسانة فى مصنع قطن فيليب ولى فى سالفورد بما نشستر — طريقة وات و بولتون عام ١٨٠١ .

(شكل ٢) استعمال الخرسانة كحشو بين كمرات حديدية — طريقة دكتور فوكس عام ١٨٢٩ .

(شكل ٣) كمرات حديد مطاوع بينها ألواح من الصاج فى مصنى — المهندس وليام فيربيرن عام ١٨٤٥ .

RESULTS OF EXPERIMENTS TO ASCERTAIN THE RESISTANCE TO A GRADUALLY INCREASED BENDING STRAIN OF COMPOSITE BEAMS, RECEIVED FROM THADDEUS HYATT LOAD APPLIED AT CENTRE.

No.	Section	lbs		Span	
K. 5545		29,628	at	5ft	span
K. 5546		28,022	at	5ft.	„
K. 5543		25,868	at	5ft.	„
K. 5539		25,148	at	5ft.	„
K. 5538		23,834	at	5ft.	„
K. 5541		21,222	at	5ft.	„
K. 5540		16,418	at	5ft.	„
K. 5549		15,478	at	5ft.	„
K. 5536		14,496	at	5ft.	„
K. 5547		13,583	at	5ft.	„
K. 5542		12,348	at	5ft.	„
K. 5550		12,178	at	5ft.	„
K. 5548		9,274	at	5ft	„
K. 5555		27,482	at	6ft	span
K. 5553		26,392	at	6ft.	„
K. 5556		25,174	at	6ft.	„
K. 5552		23,468	at	6ft.	„
K. 5554		22,172	at	6ft.	„
K. 5551		21,336	at	6ft.	„
K. 5557		17,016	at	6ft.	„
K. 5544	Cement	3,192	at	5ft.	„
K. 5537	Concrete	1,484	at	5ft.	„
K. 5559		13,512	at	8ft.	„
K. 5560		11,988	at	8ft.	„
K. 5558		10,519	at	8ft.	
K. 5561		9,084	at	8ft.	„

(*Signed*) DAVID KIRKALDY,

99, SOUTHWARK STREET, LONDON.

Feb. 26th, 1877.

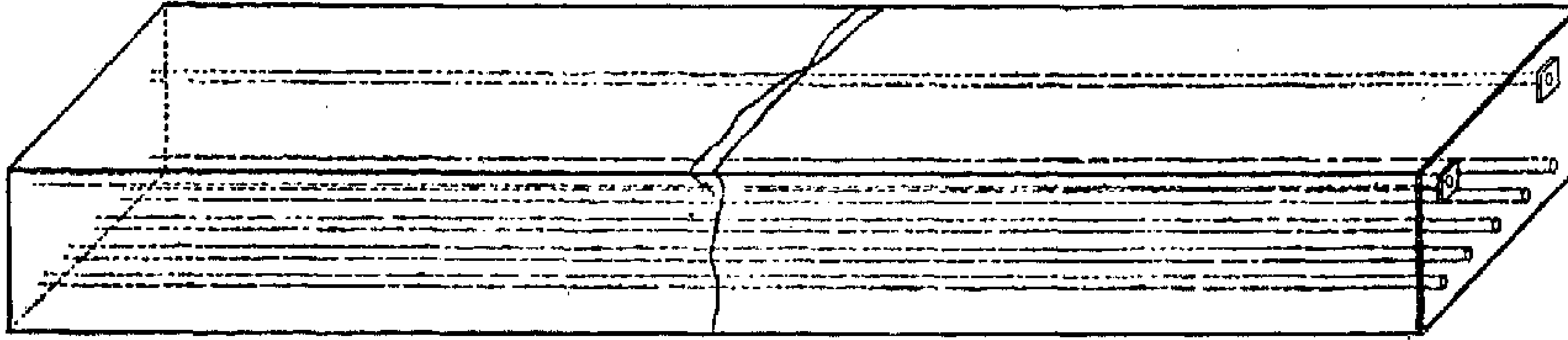
اكتشافات هايات فى الإنشاء المضاد للحريق ــ أعمال التجارب

(شكل ٤) أنواع الكمرات الخرسانية ومقاومتها لأحمال متزايدة .

شكل ٥

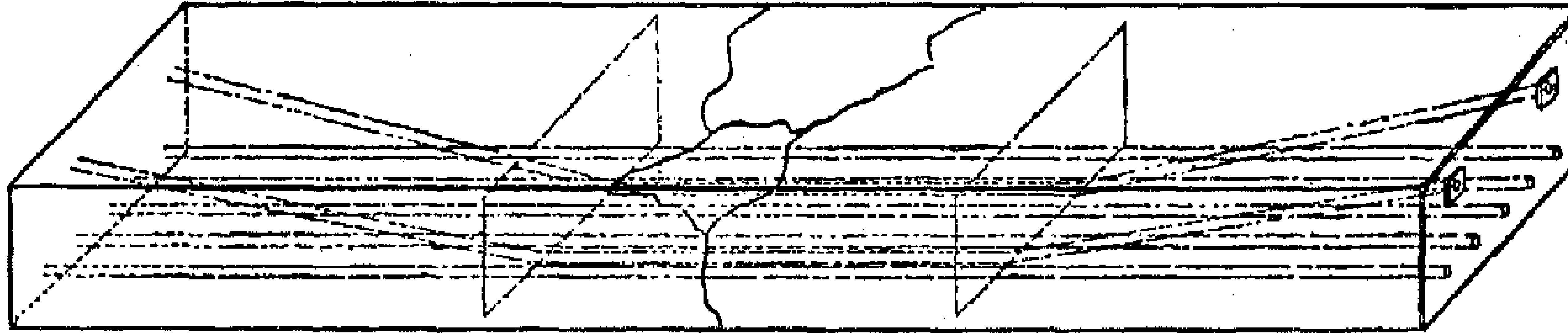
PLATE F.

No. 9.



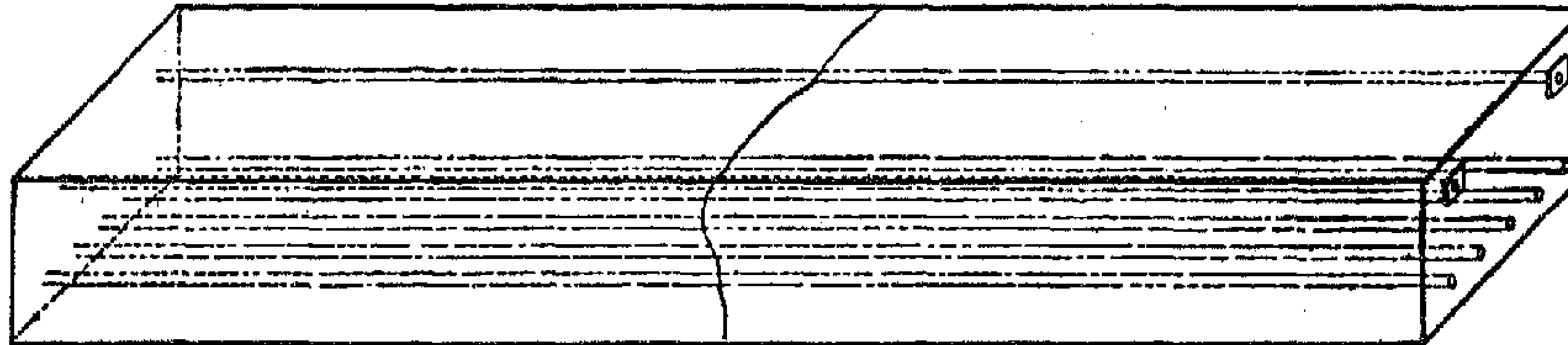
Kirkaldy's No. "K 5547." Plate A.

No. 10.



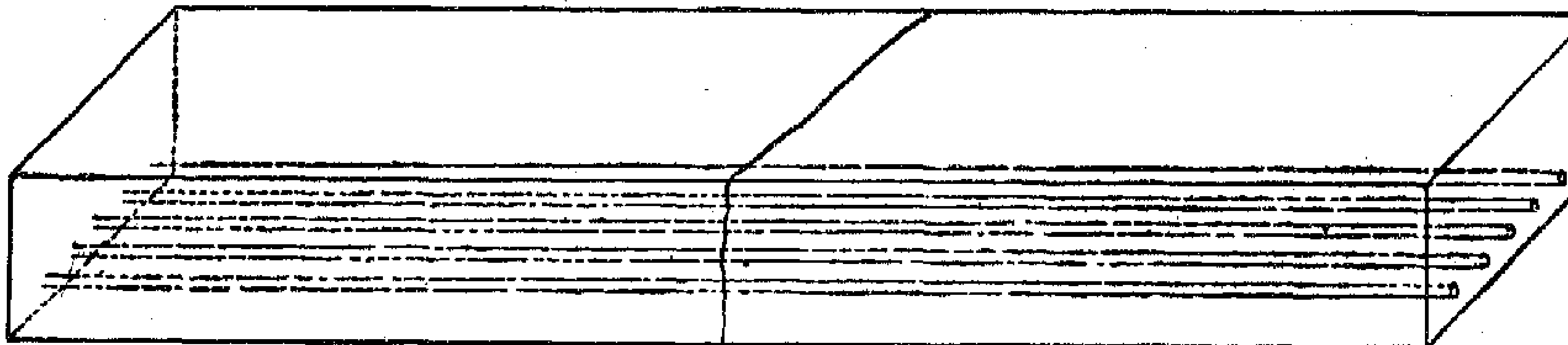
Kirk. No. "K 5549." Pl. A.

No. 11.



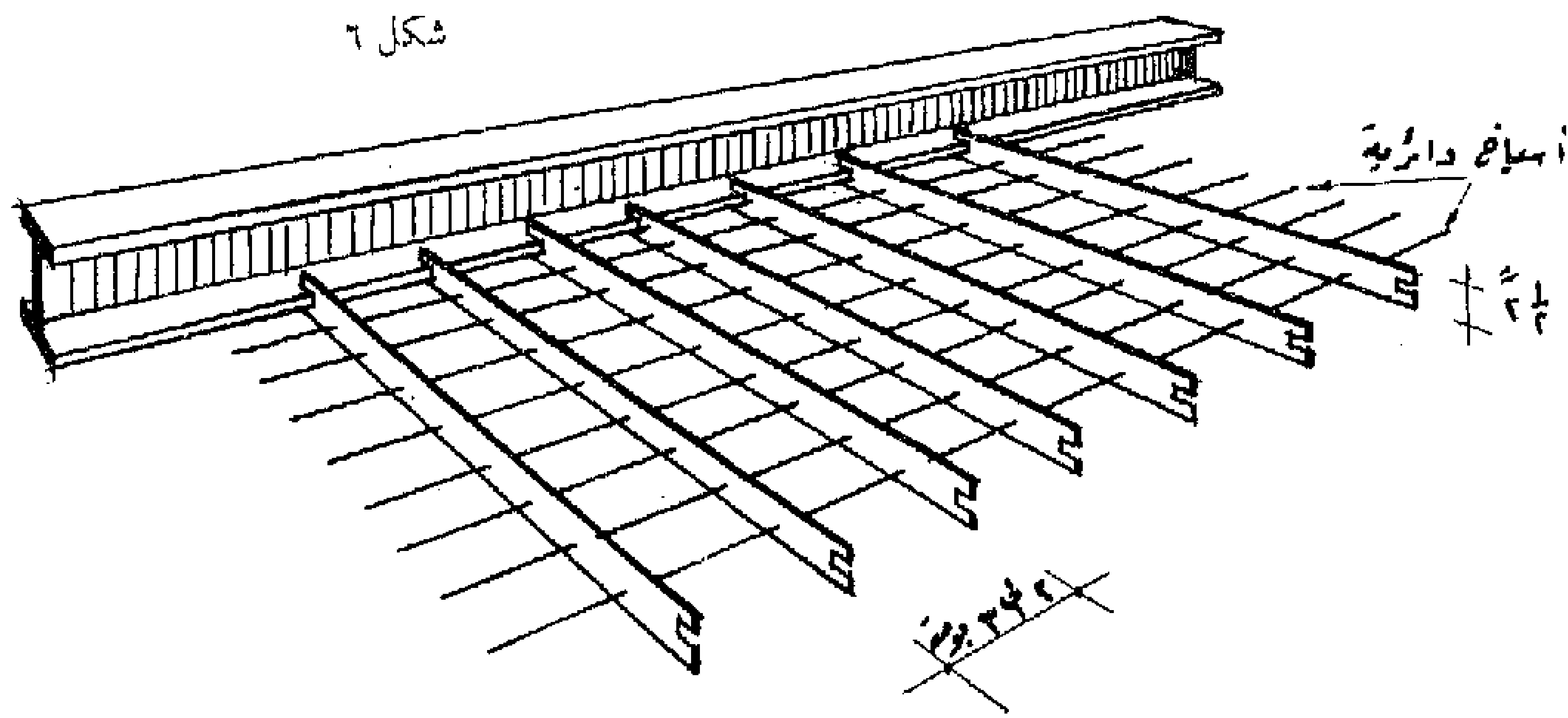
Kirk. No. "K 5550." Pl. A.

No. 12.



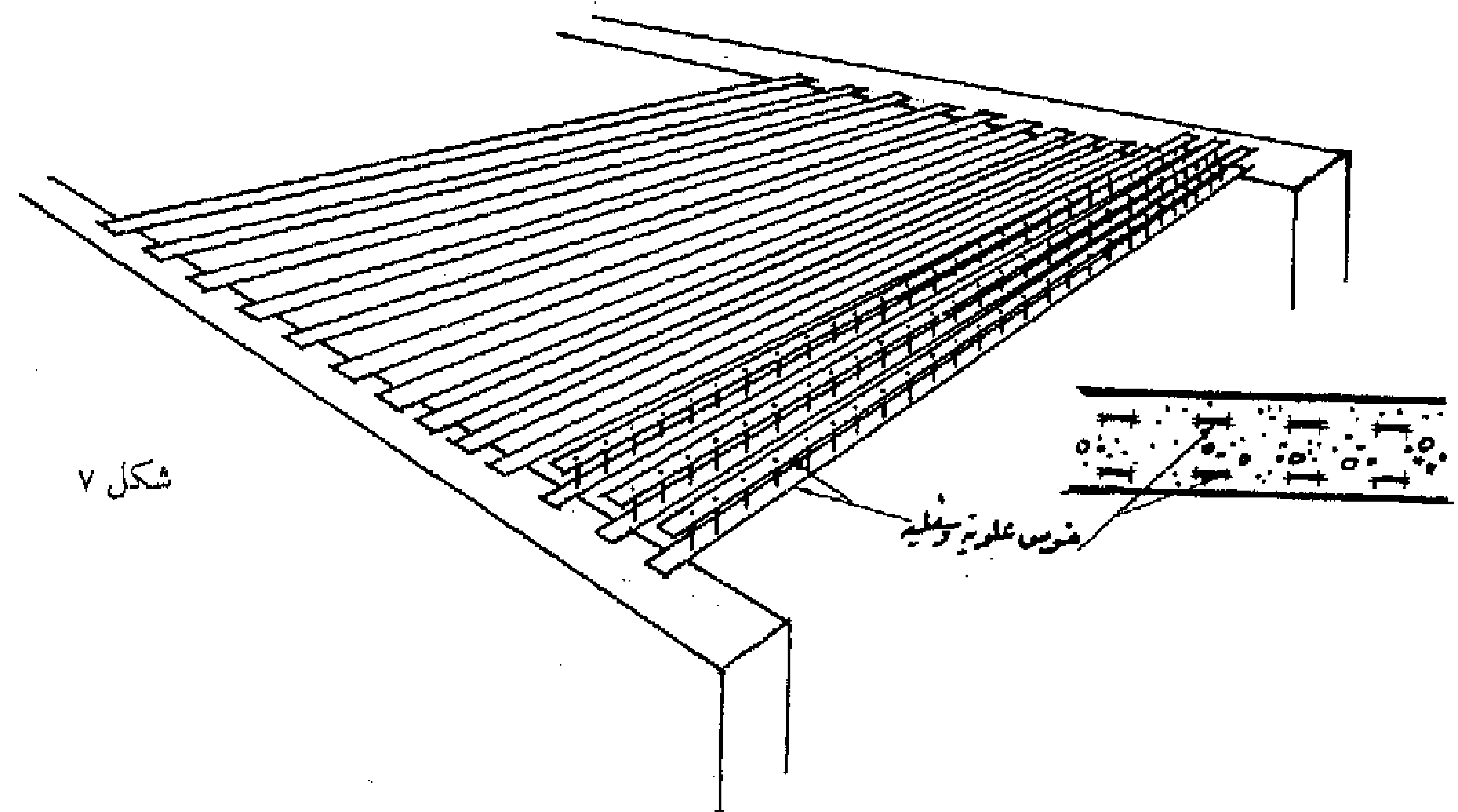
Kirk. No. "K 5548." Pl. A.

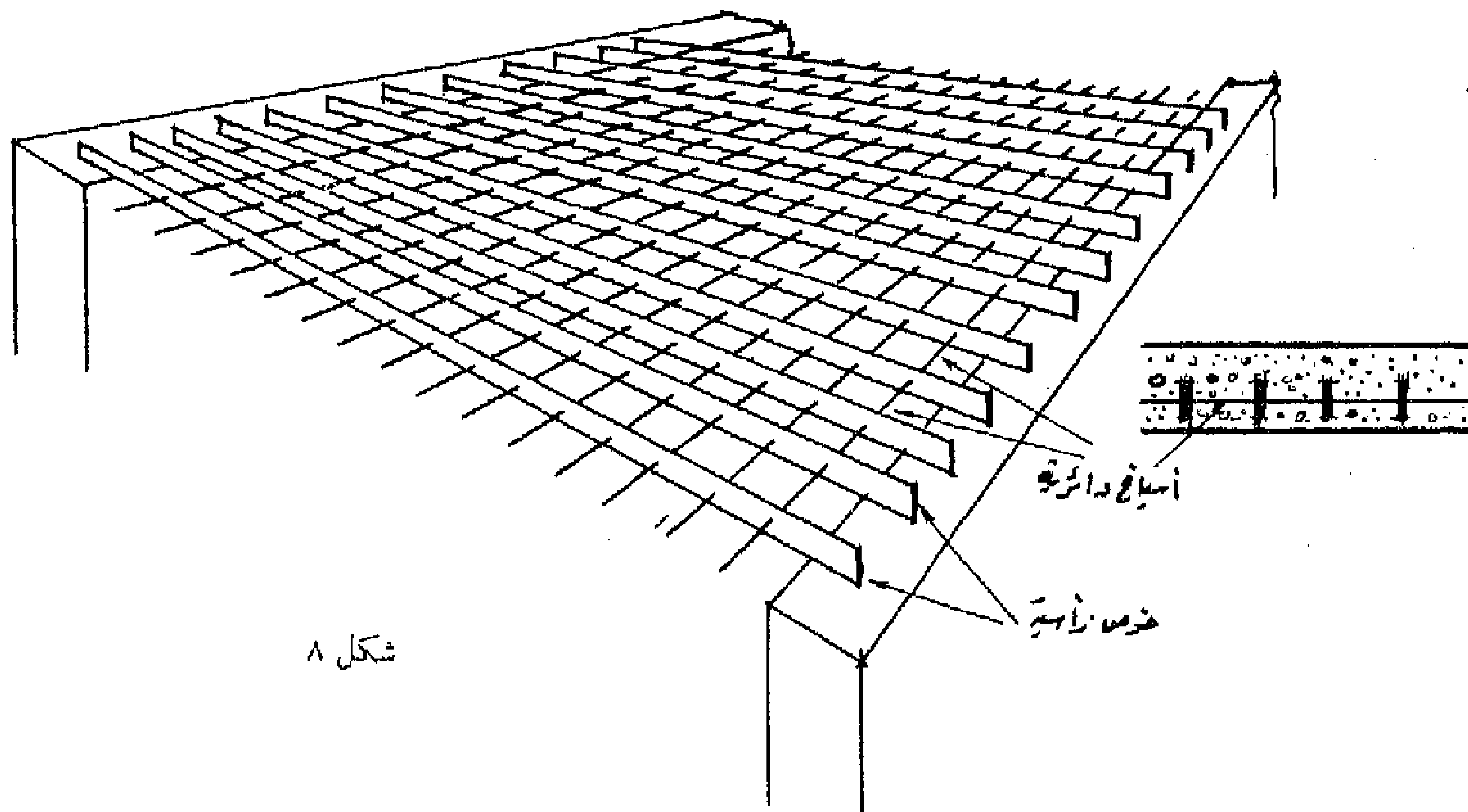
(شكل ٥) بعض كمرات خرسانية مسلحة بأسياخ حديدية دائرية علوية وسفلية ، وسفلية فقط ، وسفلية مكسحة .



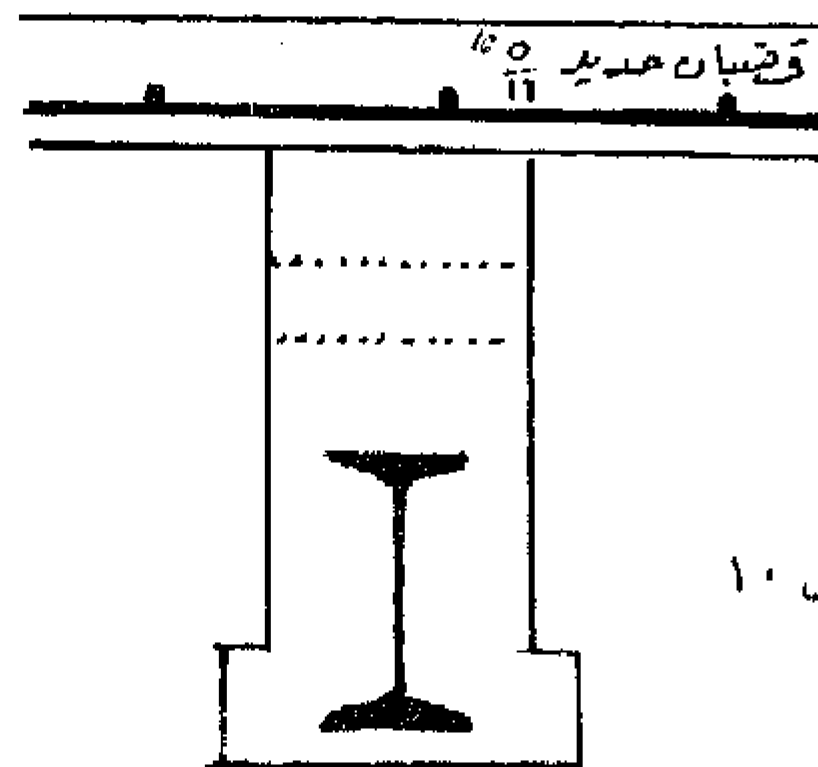
اكتشافات هايات فى بلاطات الخرسانة المسلحة

(شكل ٦) مبنى على شارع فارينجدون بلندن — تفصيلة الكمرات والأسياخ الرابطة .
(شكل ٧) الخوص العليا والسفلى للأحمال الثقيلة على البلاطات المحدودة العمق .
(شكل ٨) خوص التسليح رأسية مع الأسياخ الرابطة للأحمال الخفيفة .





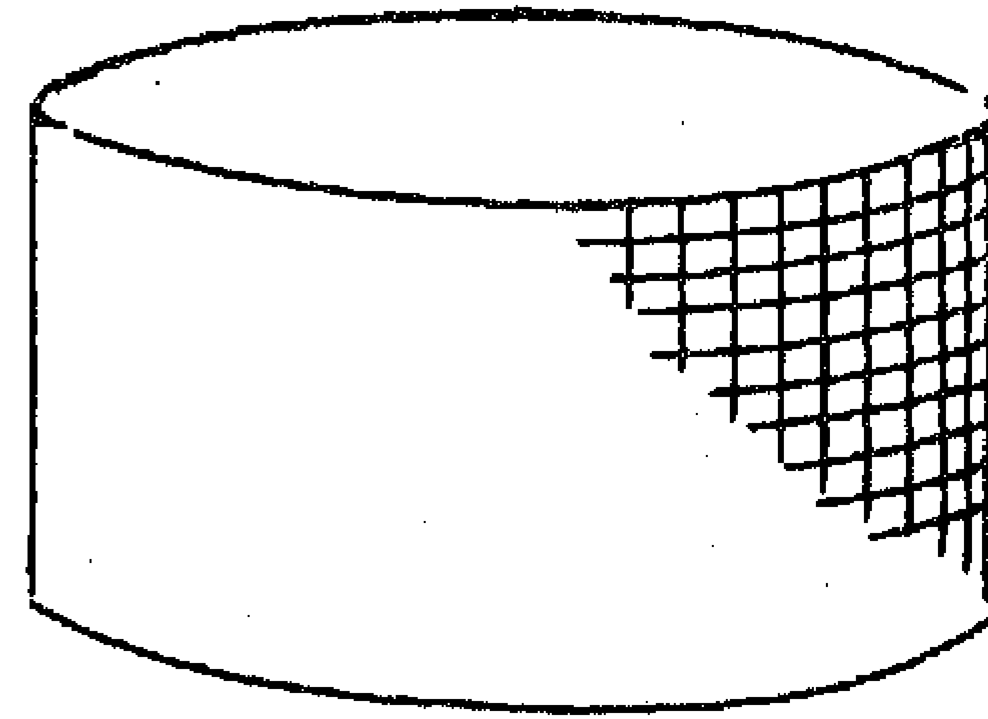
شكل ٩



شكل ١٠

أول منزل من الخرسانة المسلحة فى أمريكا –
١٨٧٣ – ١٨٧٦

(شكل ٩) منزل المهندس وارد فى بورتشستر بولاية نيويورك.
(شكل ١٠) قطاع فى كمرة وبلاطة خرسانية .



شكل ١١

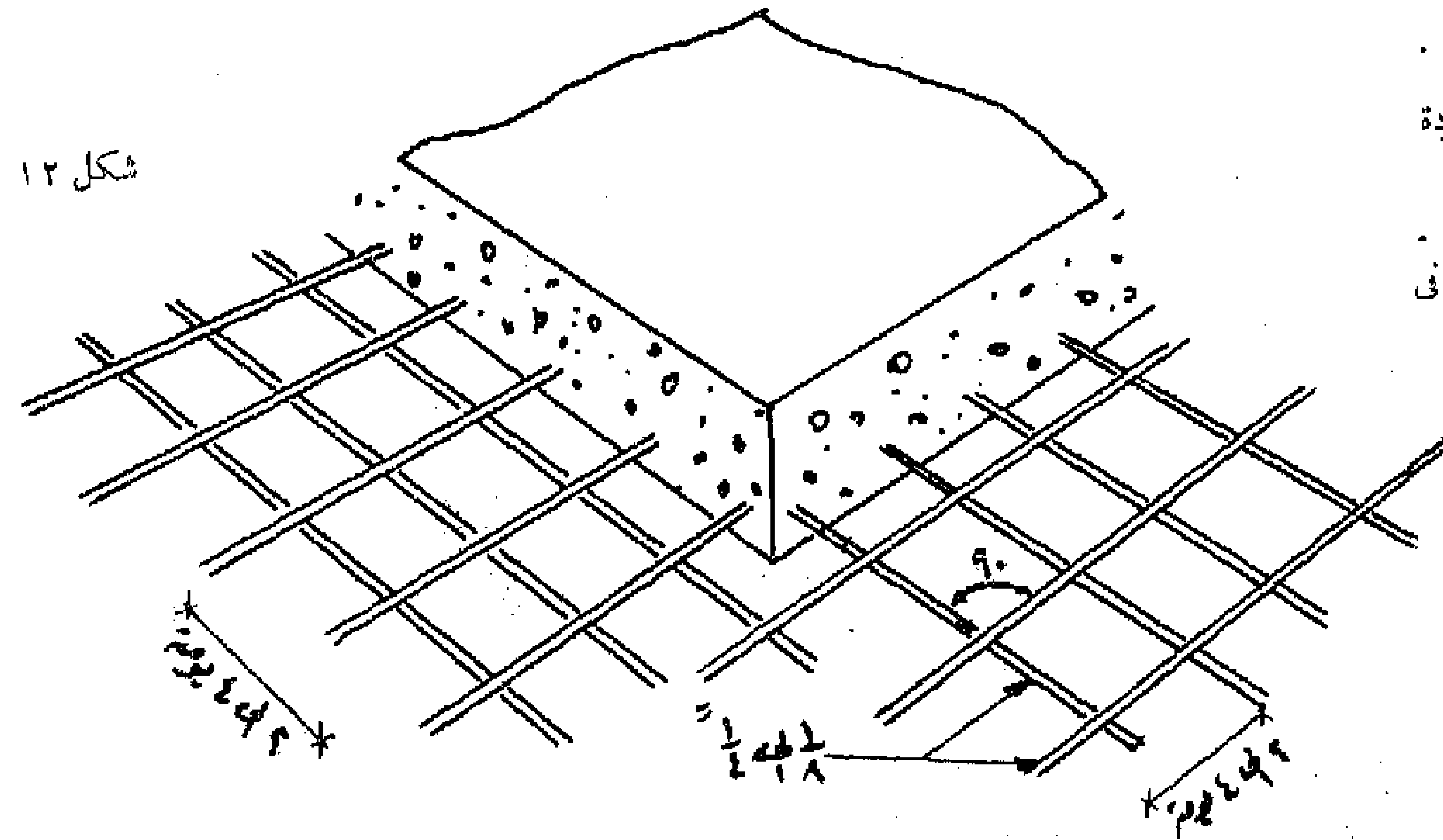
طريقة مونييه :

اخترعها مونييه وطورها وايس وكونين فى برلين .

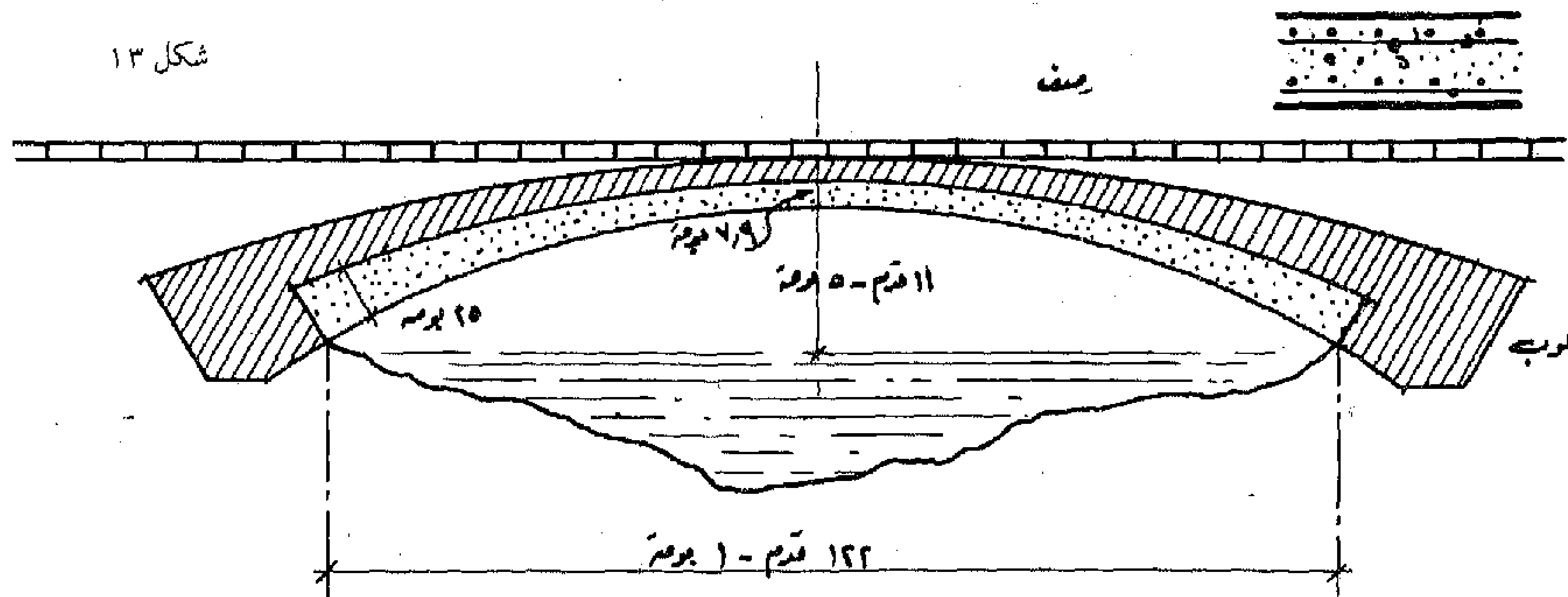
(شكل ١١) خزان دائرى من طبقة مفردة أو مزدوجة .

(شكل ١٢) بلاطات أفقية بتسليح مزدوج .

(شكل ١٣) كوبرى بنى عام ١٨٩٠ فى وايلدج بسويسرا .



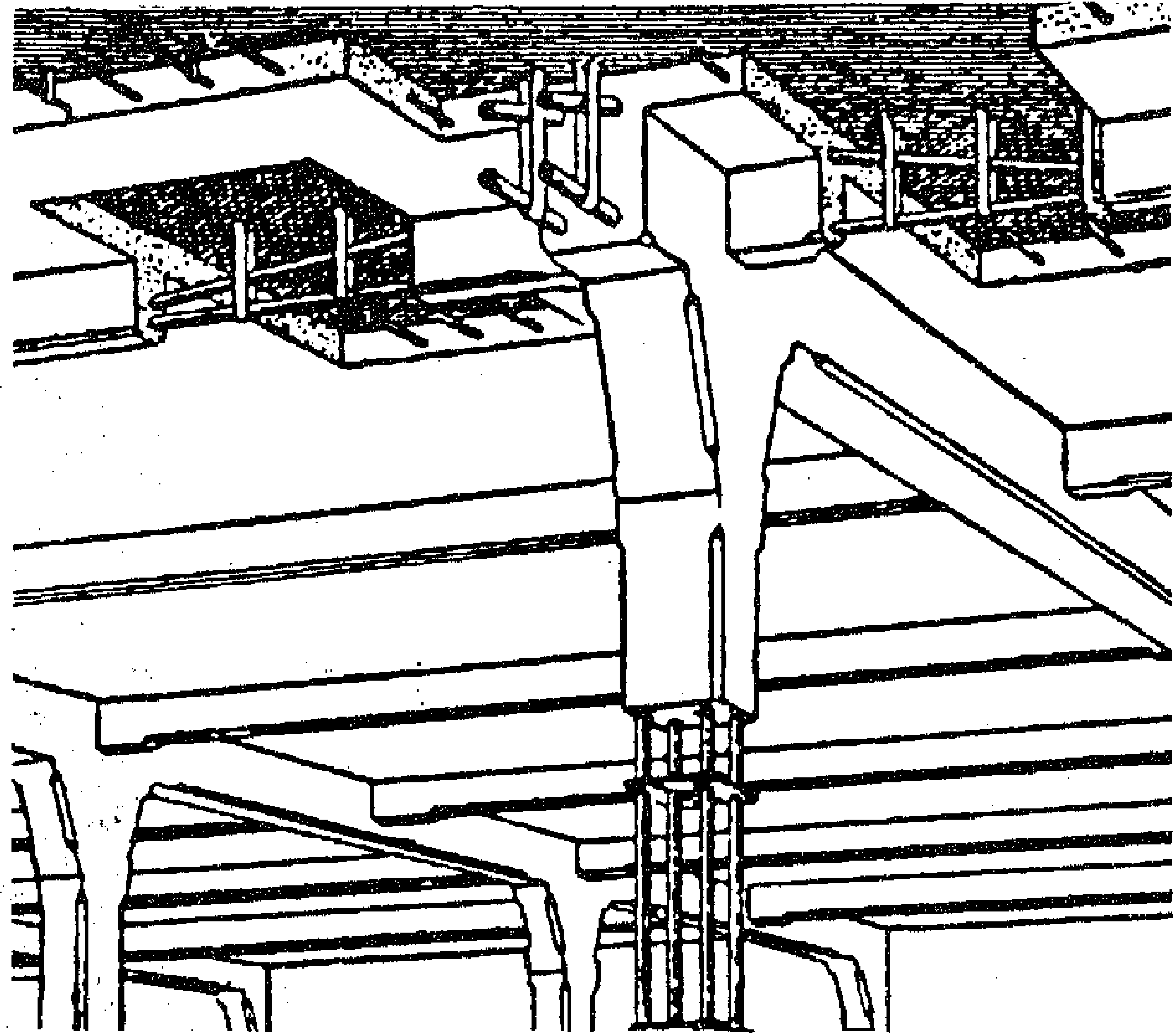
شكل ١٢



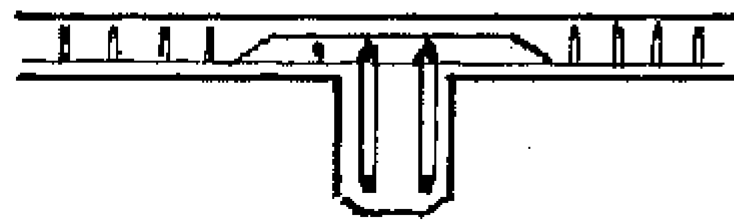
شكل ١٣

طريقة هنبيك

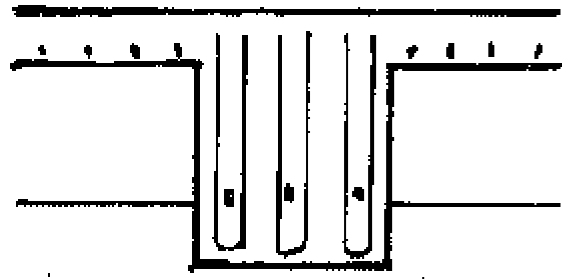
(شكل ١٤) منظور لقطاع فى كمرة رئيسية وثانوية وبلاطة.
(شكل ١٥) اتصال الأعمدة بالكمرات .
(شكل ١٦) اتصال الكمرة بالبلاطة .
(شكل ١٧) اتصال الكمرة الرئيسية بالبلاطة .
(شكل ١٨) أساسات خرسانية .



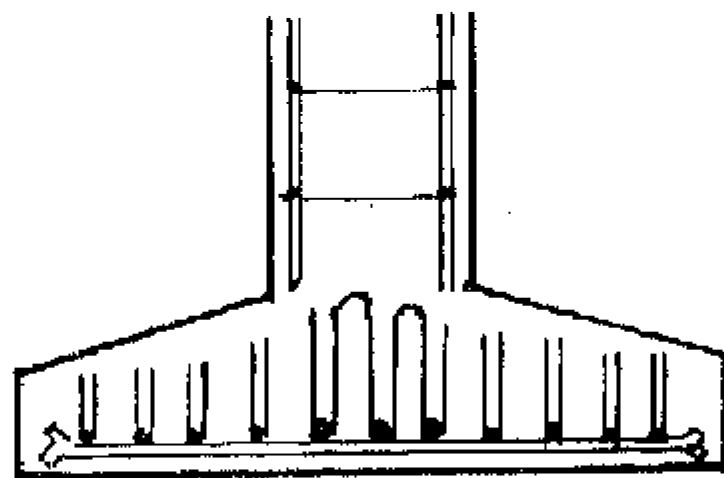
شكل ١٤



شكل ١٦

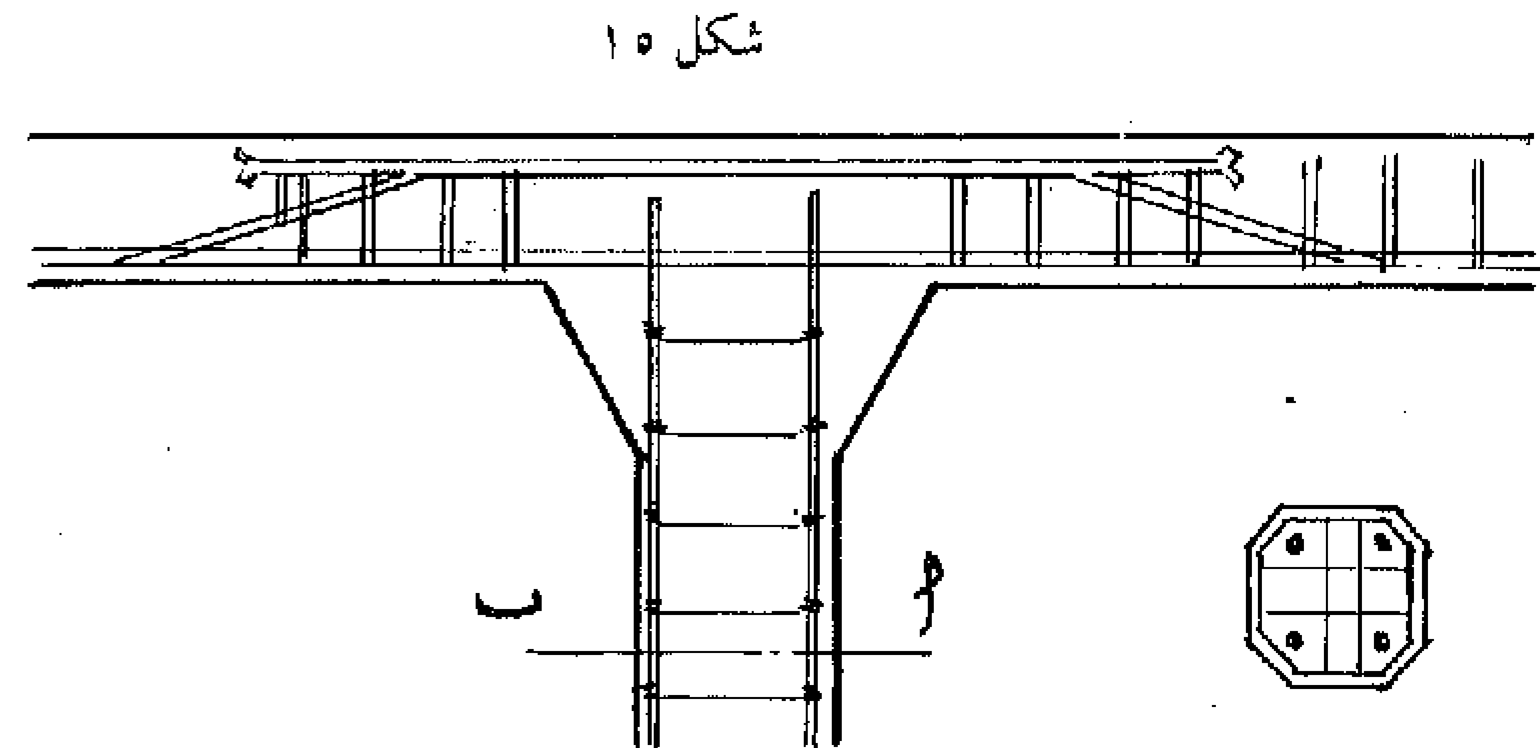


شكل ١٧



شكل ١٨

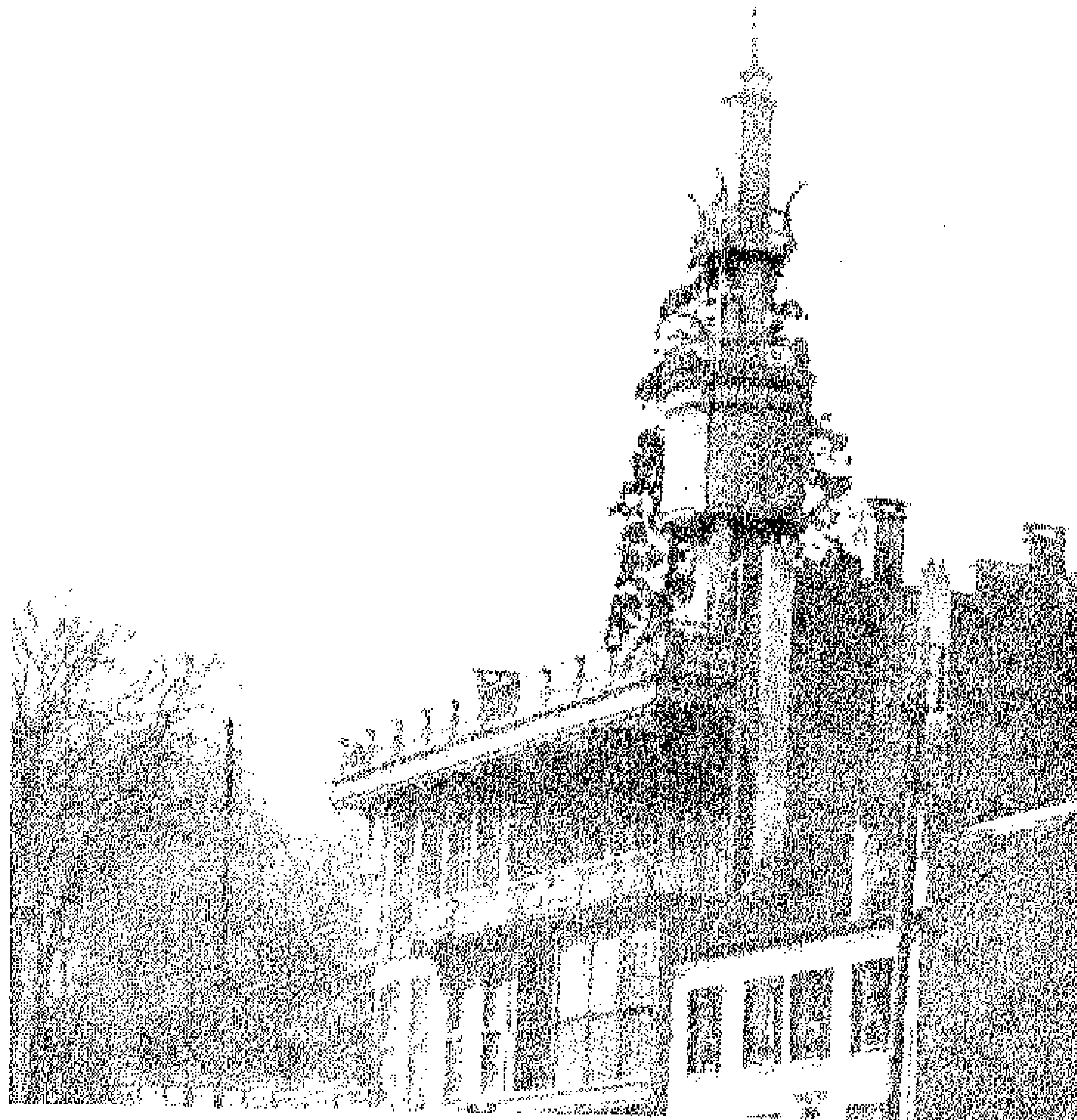
شكل ١٥



شكل

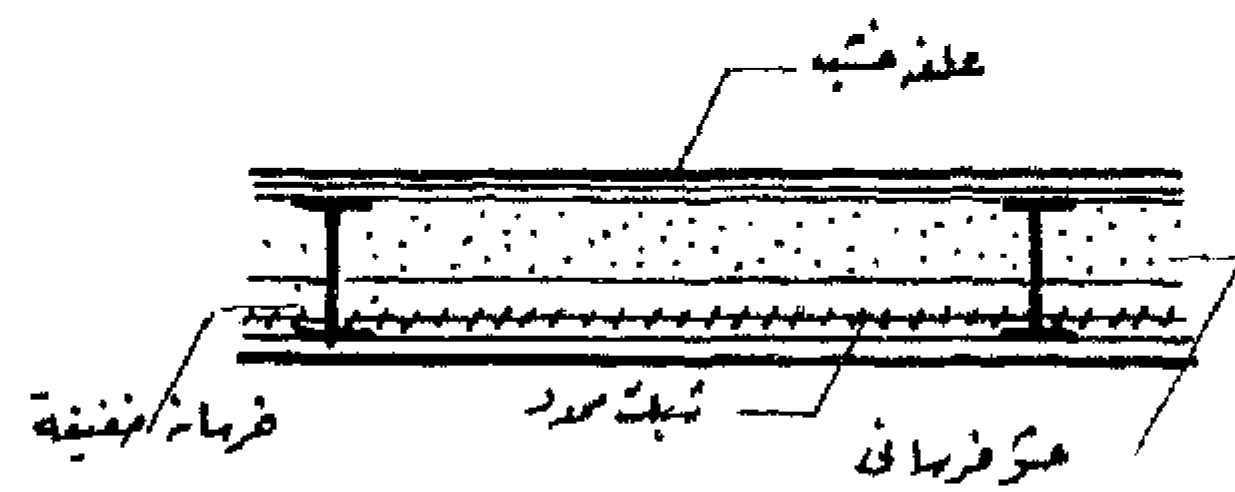


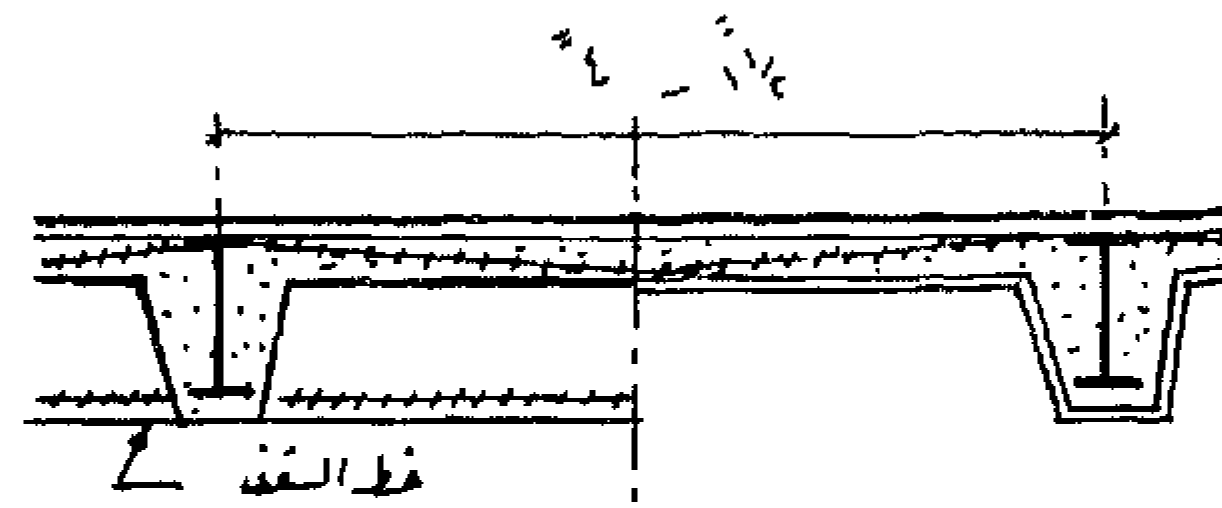
شكل ٢٠



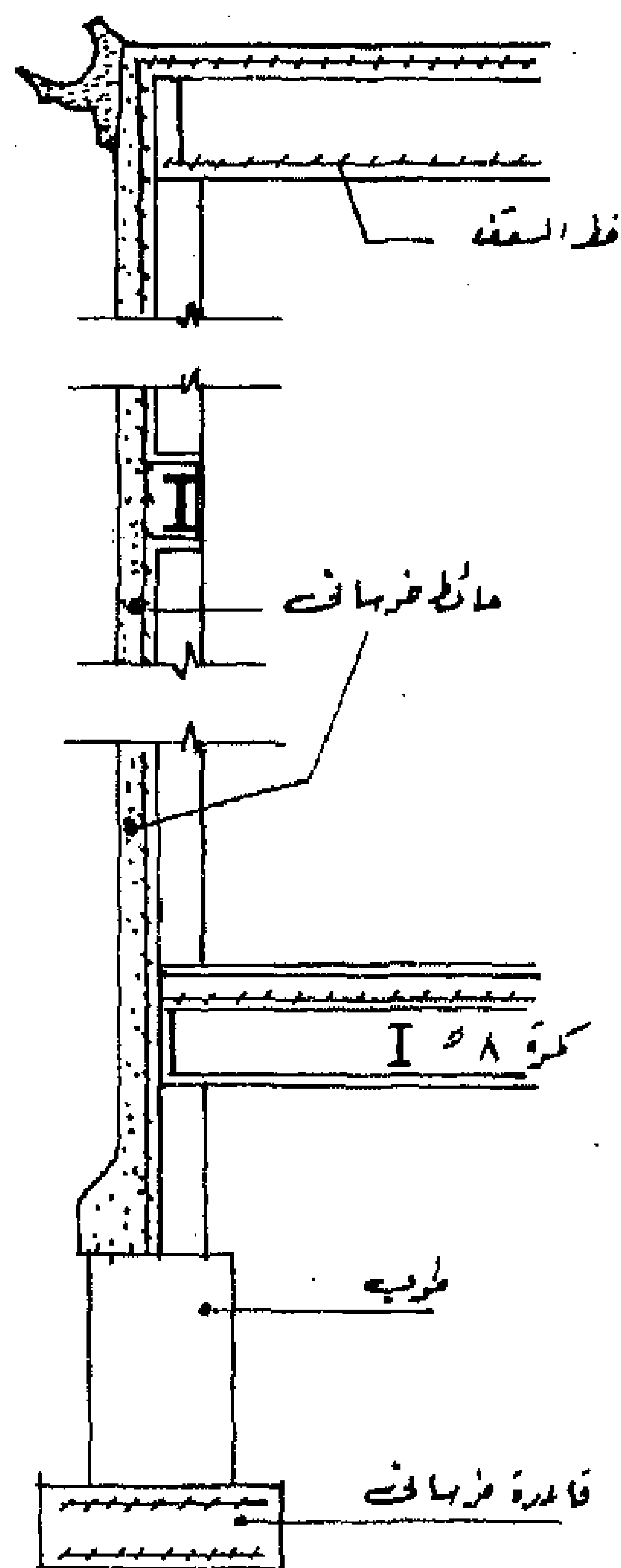
من أعمال هنبيك بالخرسانة المسلحة

(شكل ١٩) عمارة رقم ١ شارع دانتون بباريس عام ١٨٩٨– المعمارى أرنود .
(شكل ٢٠) سكن هنبيك الخاص فى بورج لارين .

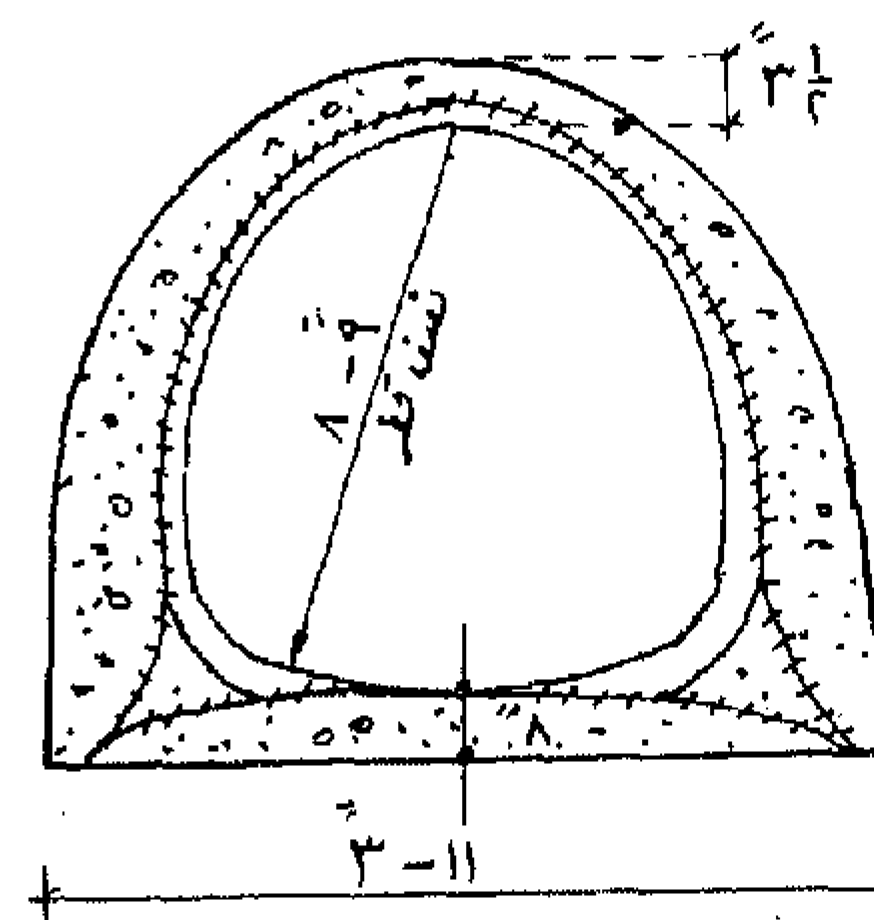




شكل ٢١.



شكل ٢٣



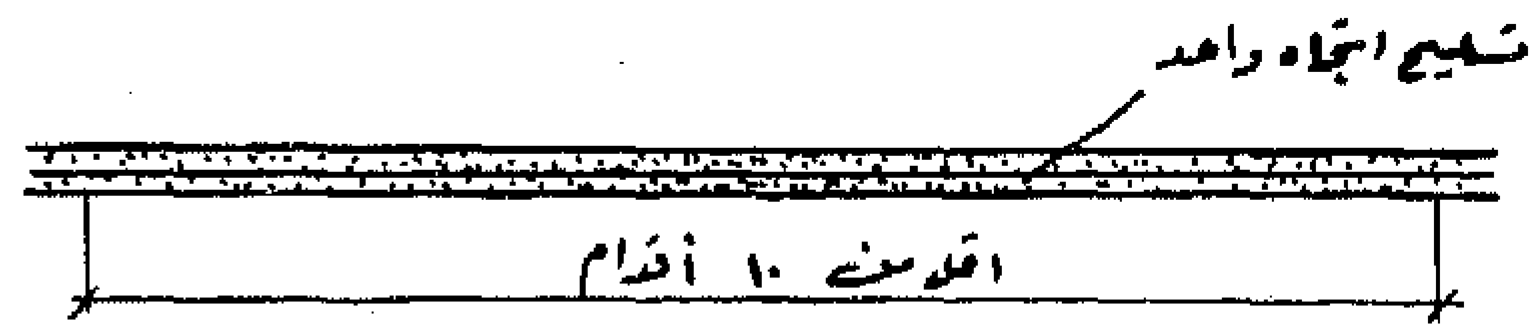
شكل ٢٢

طريقة الشبك الممدد

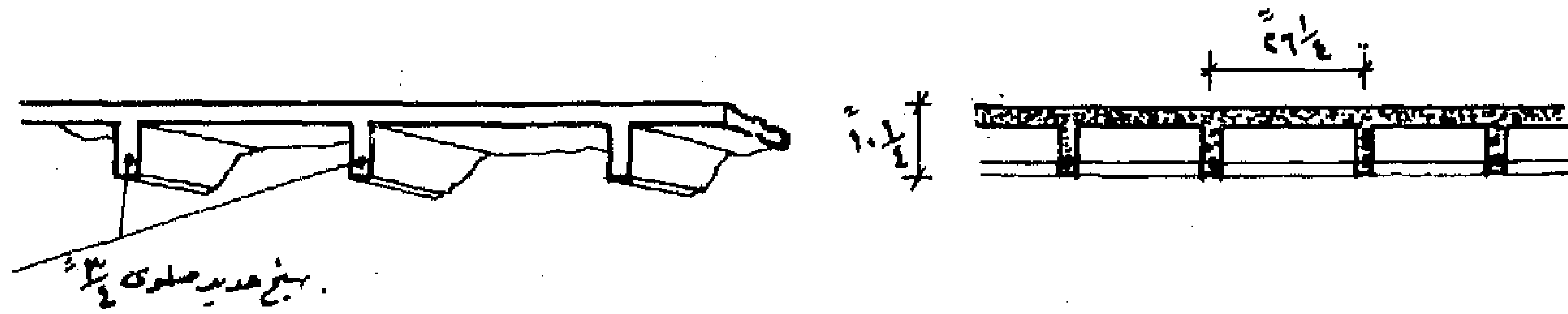
(شكل ٢١) احتمالات مختلفة لإنشاء البلاطة الخرسانية .

(شكل ٢٢) قطاع الماسورة لشركة مياه نيوجرسي سنة ١٩٠٠.

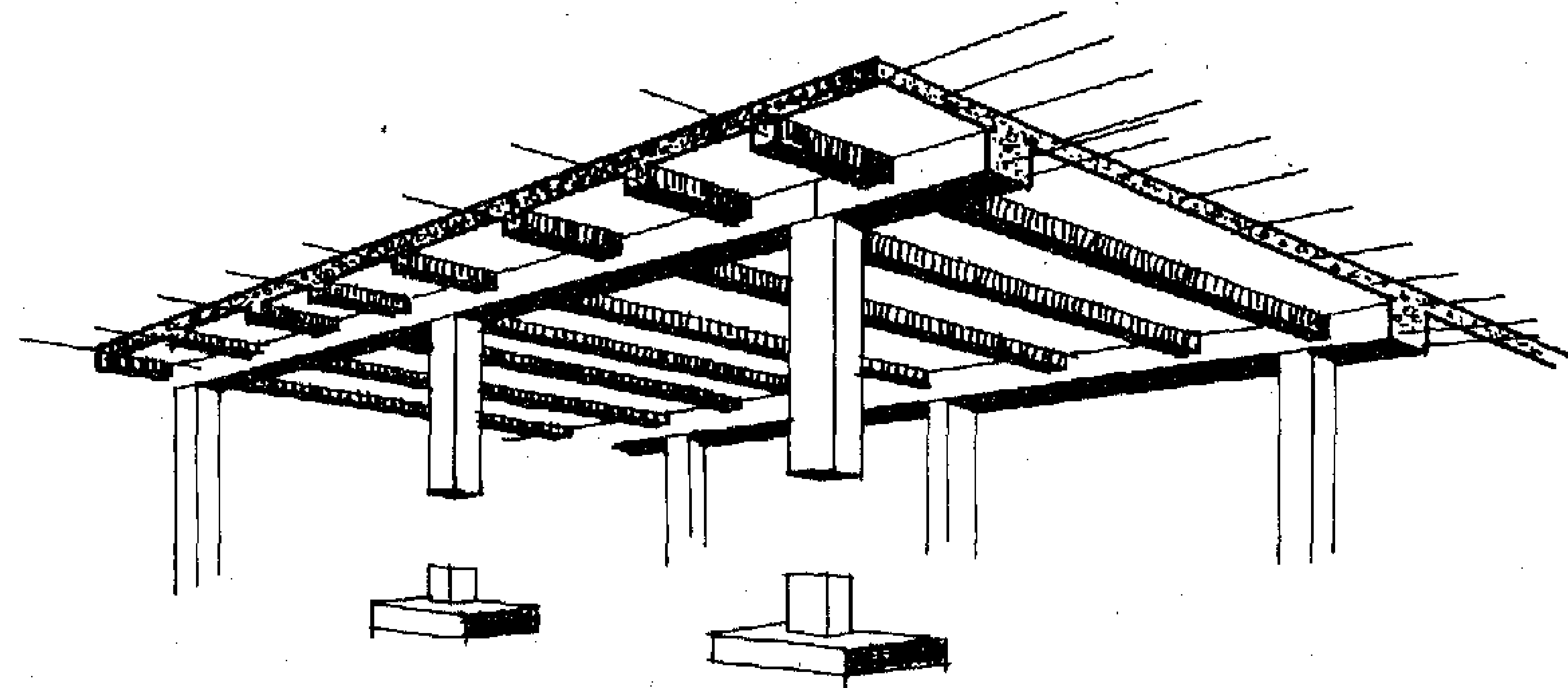
(شكل ٢٣) قطاع لمخزن مضاد للحريق – الشركة الشرقية للشبك الممدد وشركة منهاتن للخرسانة .



شكل ٢٤



شكل ٢٥



شكل ٢٦

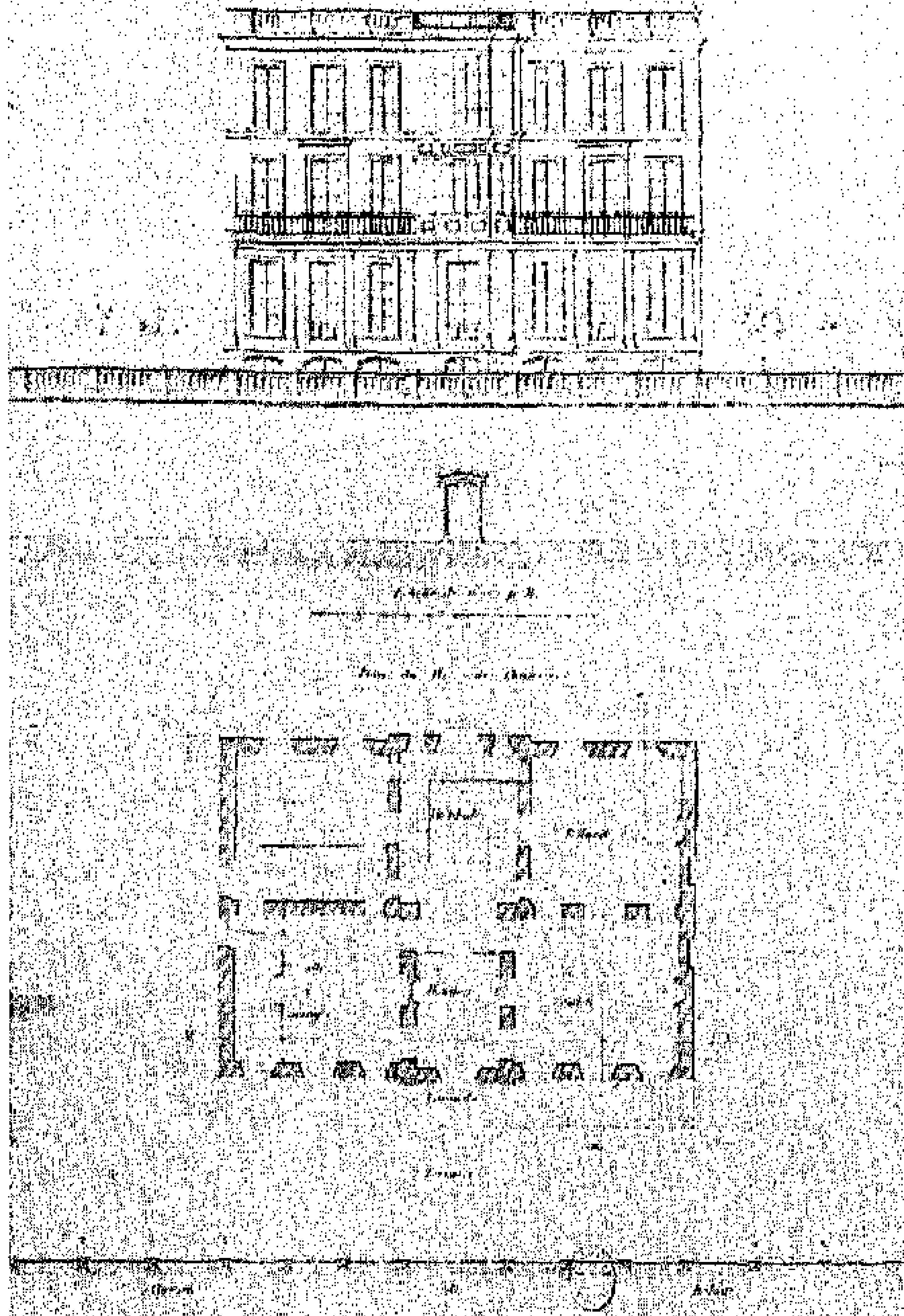
طريقة رانسوم

(شكل ٢٤) سقف لبحور صغيرة .
(شكل ٢٥) سقف لبحور كبيرة .
(شكل ٢٦) إنشاء بالكمرات والبلاطات لسقف خزان تحليل .

شكل ٢٨



شكل ٢٧

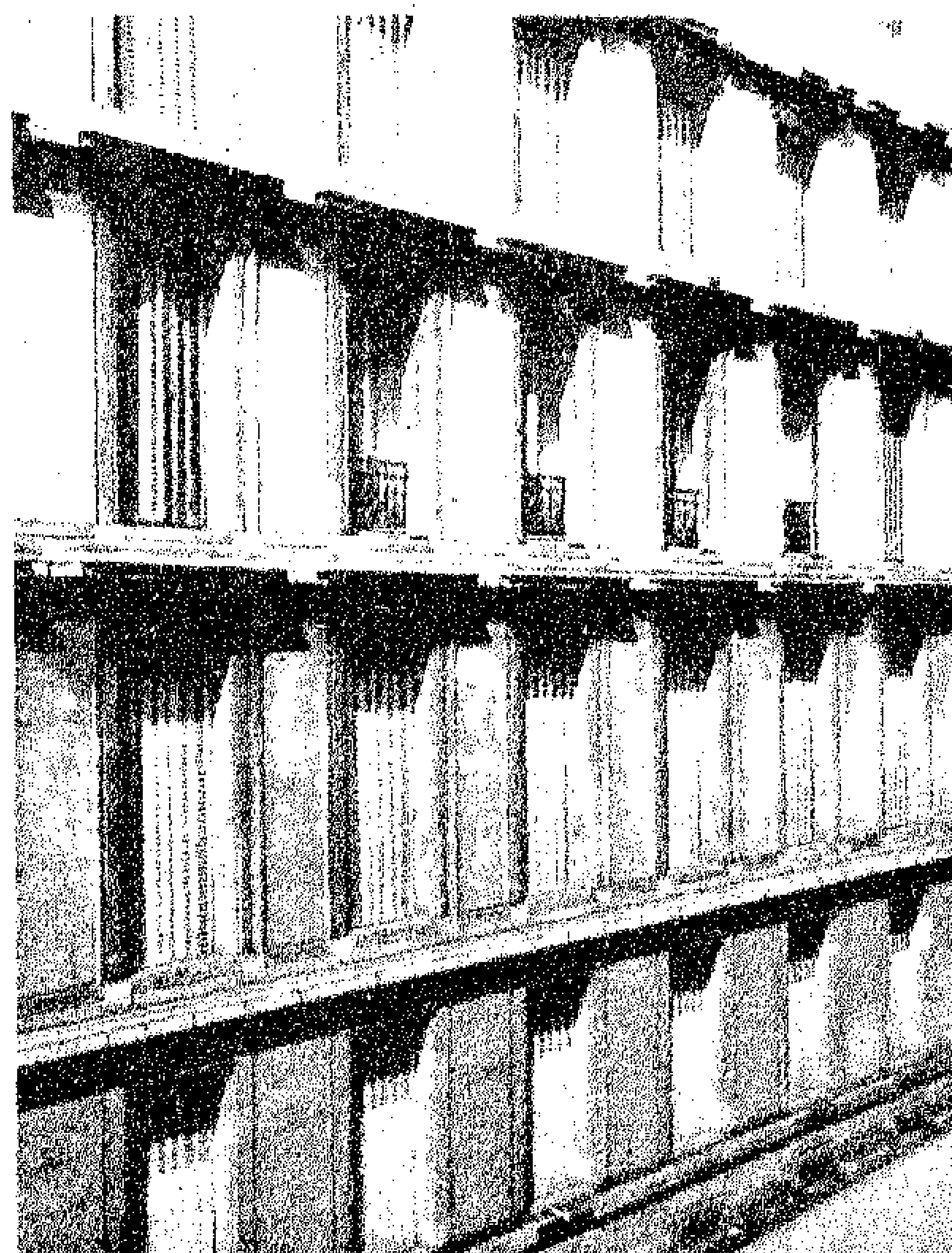


أعمال فرنسوا كونييه بالخرسانة

(شكل ٢٧) تصميمات المعمارى تيودور لاشيه لمنزل فى سانت دنيس ١٨٥٣

(شكل ٢٨) كنيسة ليفيسينة – المعمارى بوالوه – ارتفاع البرج ٤٠ مترا .

شكل ٢٩



شكل ٣٠



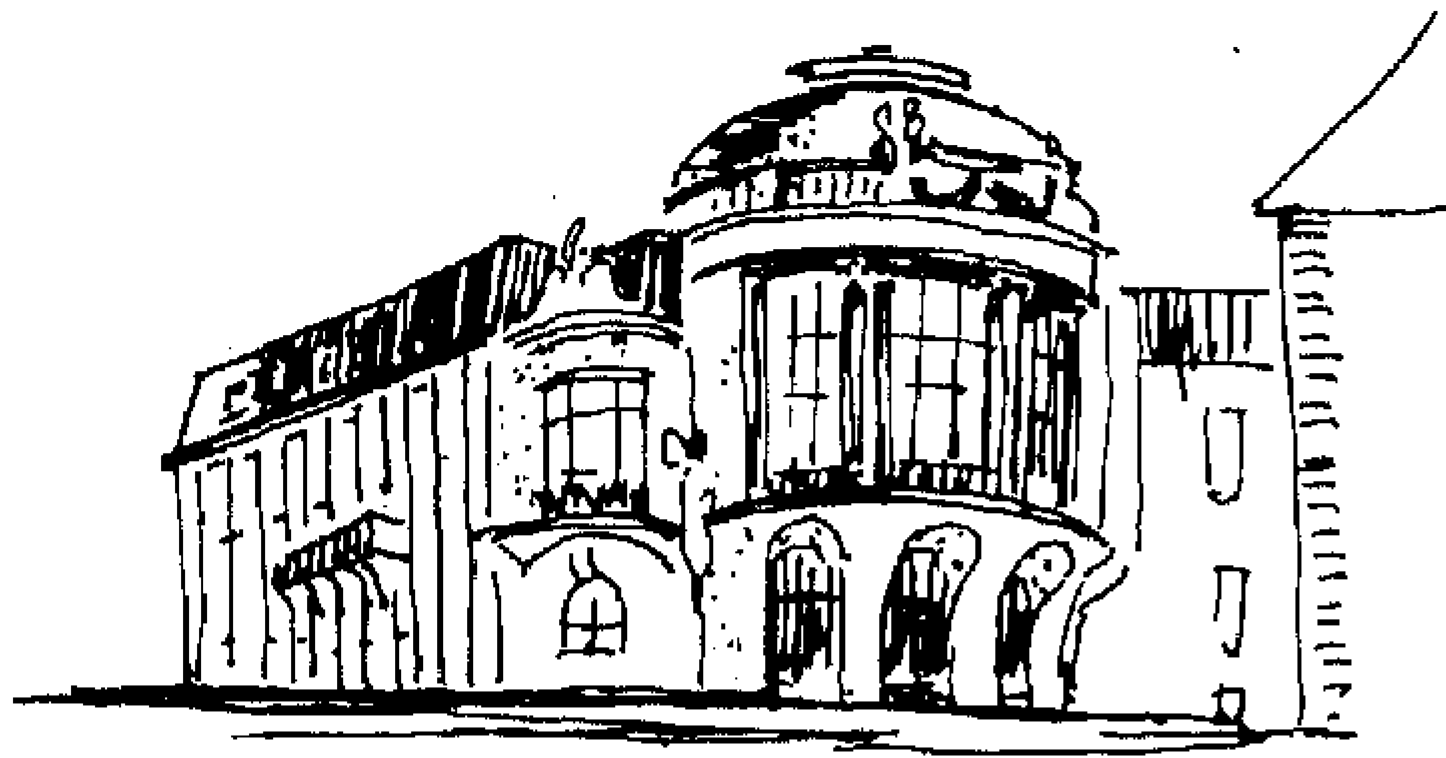
أعمال سكنية أولى بالخرسانة

(شكل ٢٩) عمارة المقاول فرنسوا كونييه بباريس سنة ١٨٦٧ .

(شكل ٣٠ عمارة بشارع سوثوارك زوار سنة ١٨٨٥ – المقاول جودوون – .

الاقتباس فى عمارة الخرسانة المسلحة

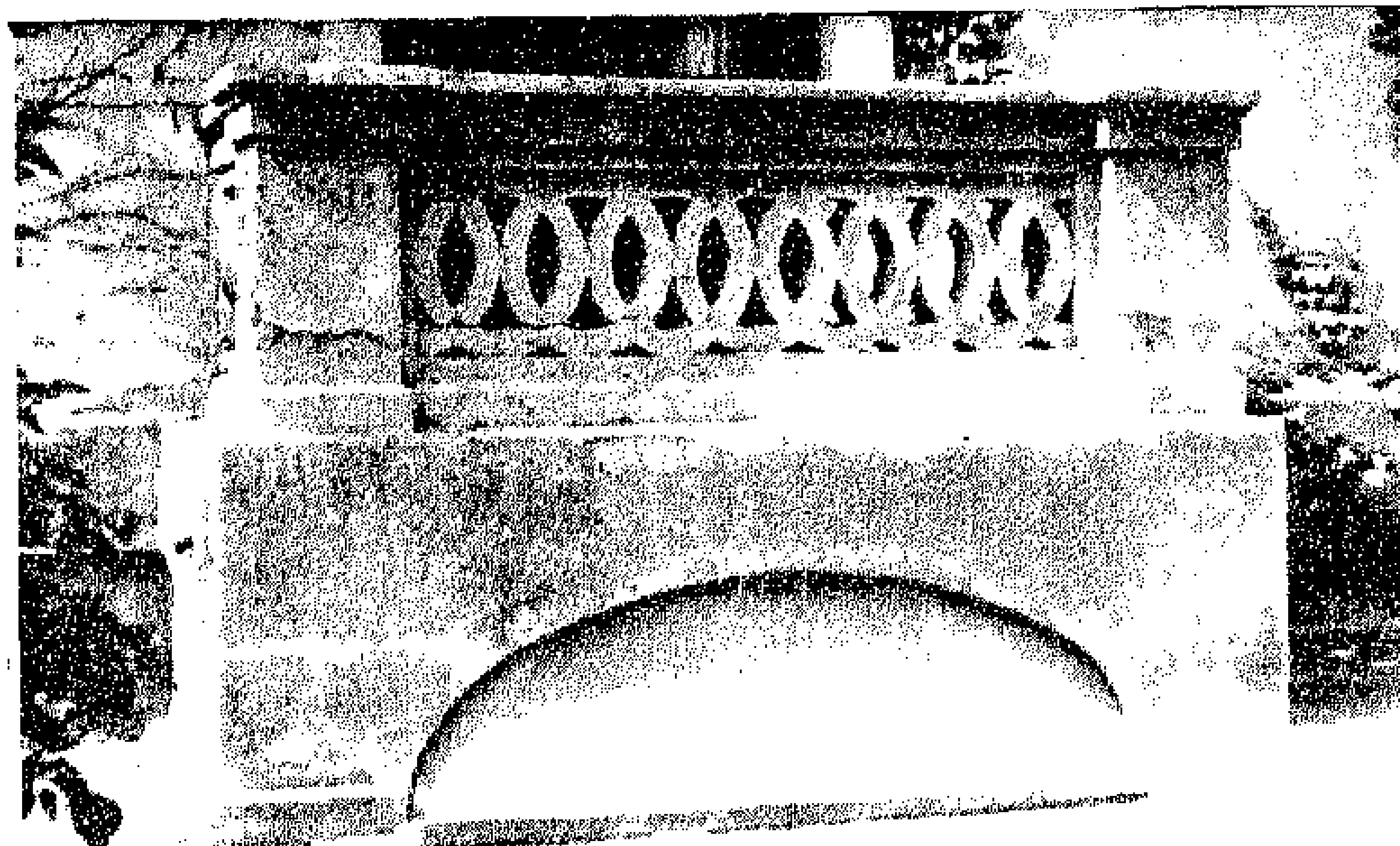
(شكل ٣١) مسرح ديكورنوه فى آجن بفرنسا سنة ١٩٠٧ .
(شكل ٣٢) منزل وارد فى بورتشستر بنيويورك سنة ١٨٧٣ – ٧٧ .
(شكل ٣٣) منزل وارد – البرج الثمن .
(شكل ٣٤) منزل وارد – أسوار خرسانية .


شكل ٣١

شكل ٣٣



شكل ٣٢


شكل ٣٤

الأقتباس فى عمارة الخرسانة المسلحة

(شكل ٣٥) متحف ستانفورد الصغير سنة ١٨٨٩ – المقاول رانسوم .
(شكل ٣٦) مسرح هوليود – كاليفورنيا – المعماريين مورجان و والز وكليمنتز .
(شكل ٣٧) مسرح مايان بلوس أنجلوس – المعمارين مورجان ووالزوكلميتز .

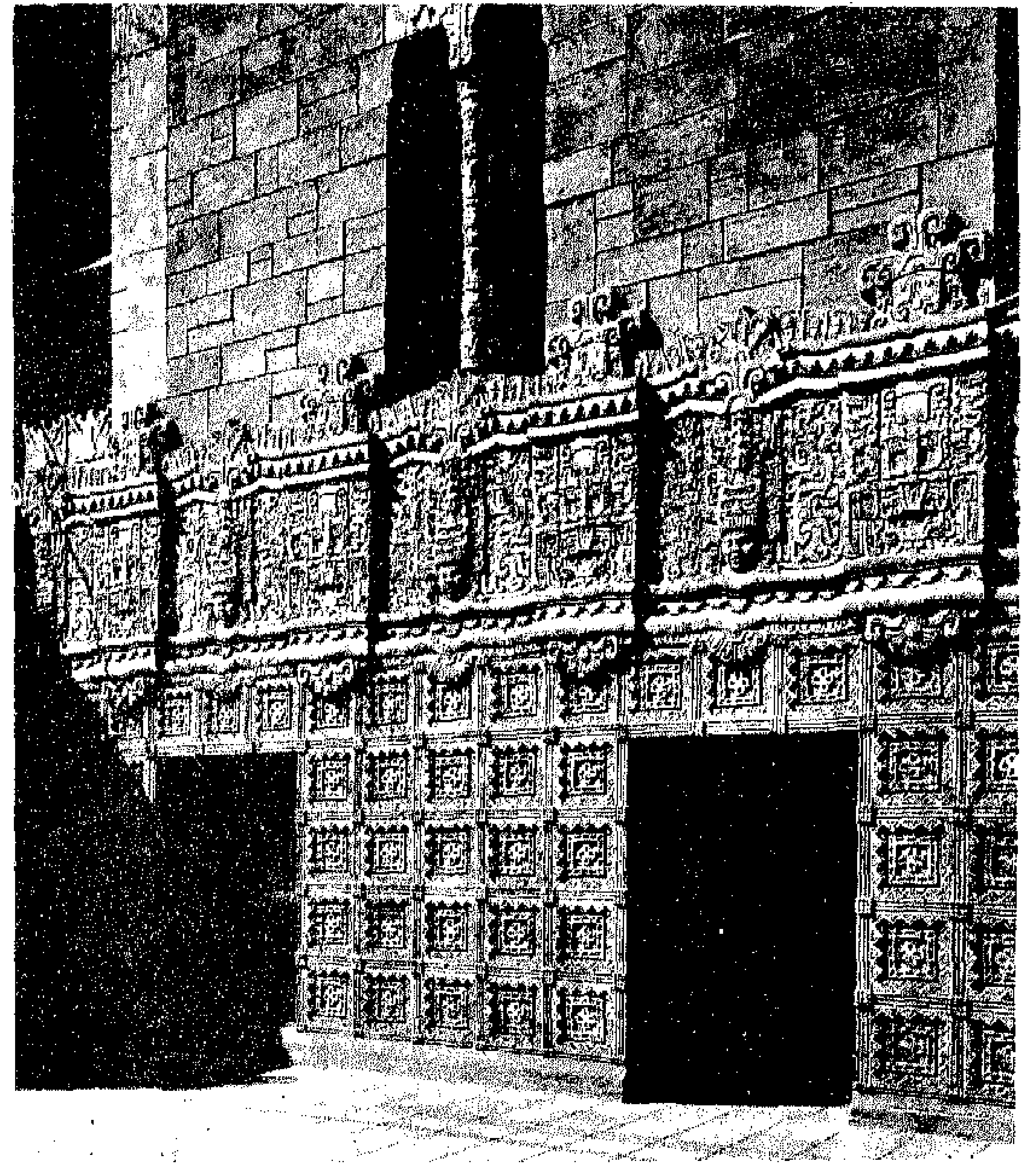


شكل ٣٥

شكل ٣٧



شكل ٣٦



الاقتباس من عمارة الخرسانة المسلحة

(شكل ٣٨) مخزن داوسن ستكتن بكاليفورنيا— المهندس المعماري جلن آلن .

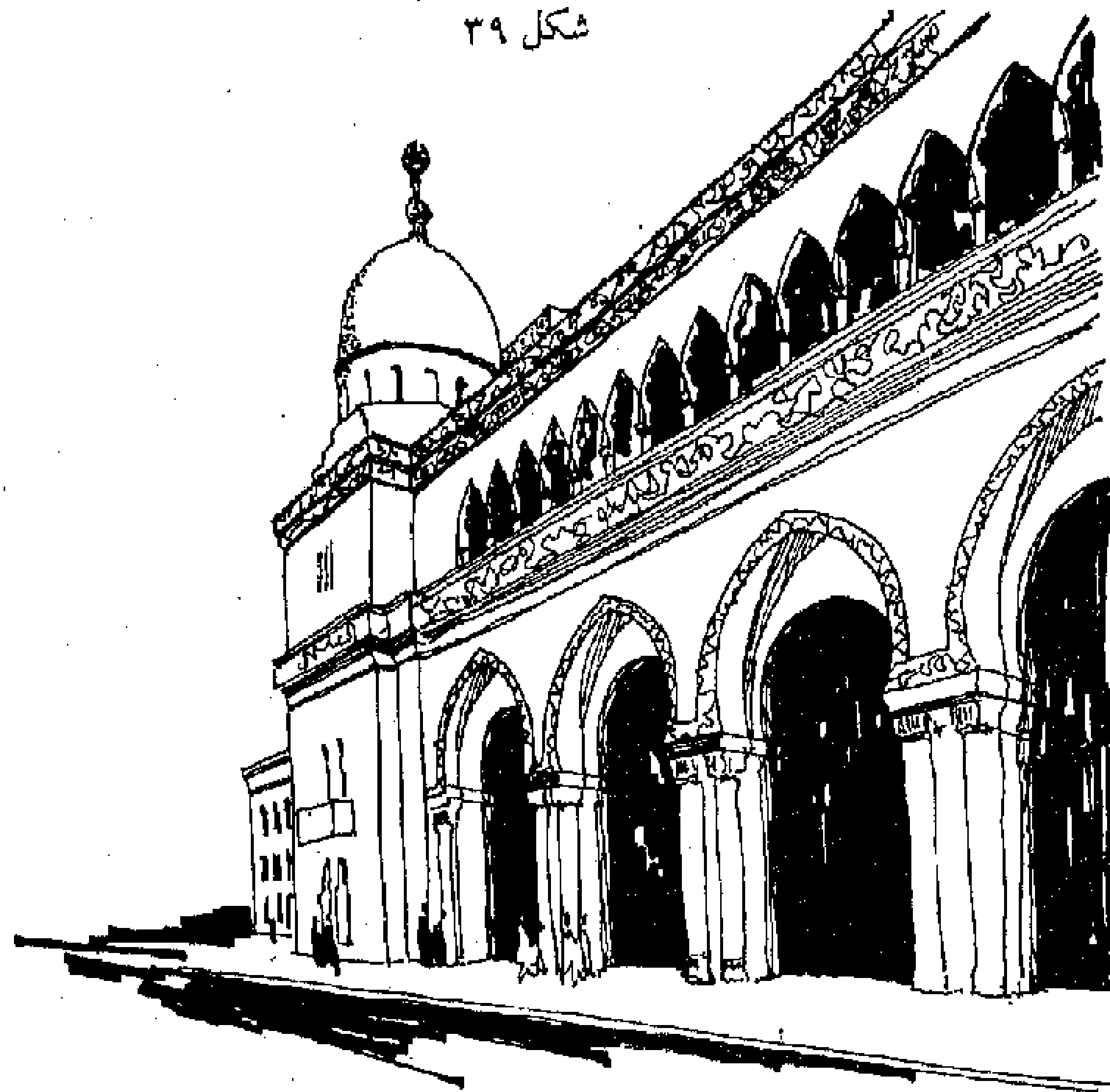
(شكل ٣٩) معبد الملايكة بلوس أنجلوس بكاليفورنيا — المنهدس المعماري ج. أوستن.

(شكل ٤٠) مسرح جراومان الصيني بهوليود بكاليفورنيا—المهندسين المعماريين مايروهولر—

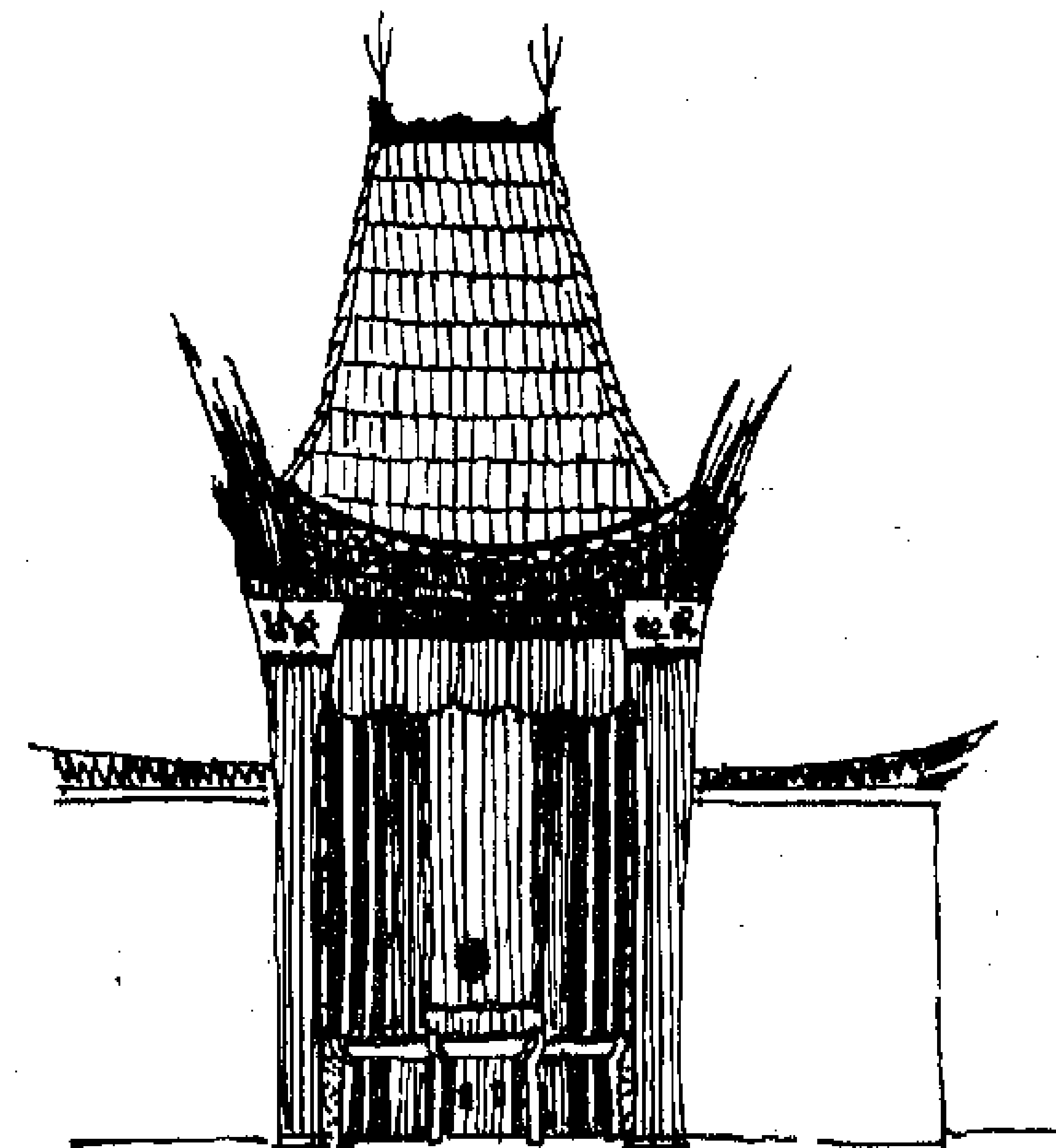


شكل ٣٨

شكل ٣٩



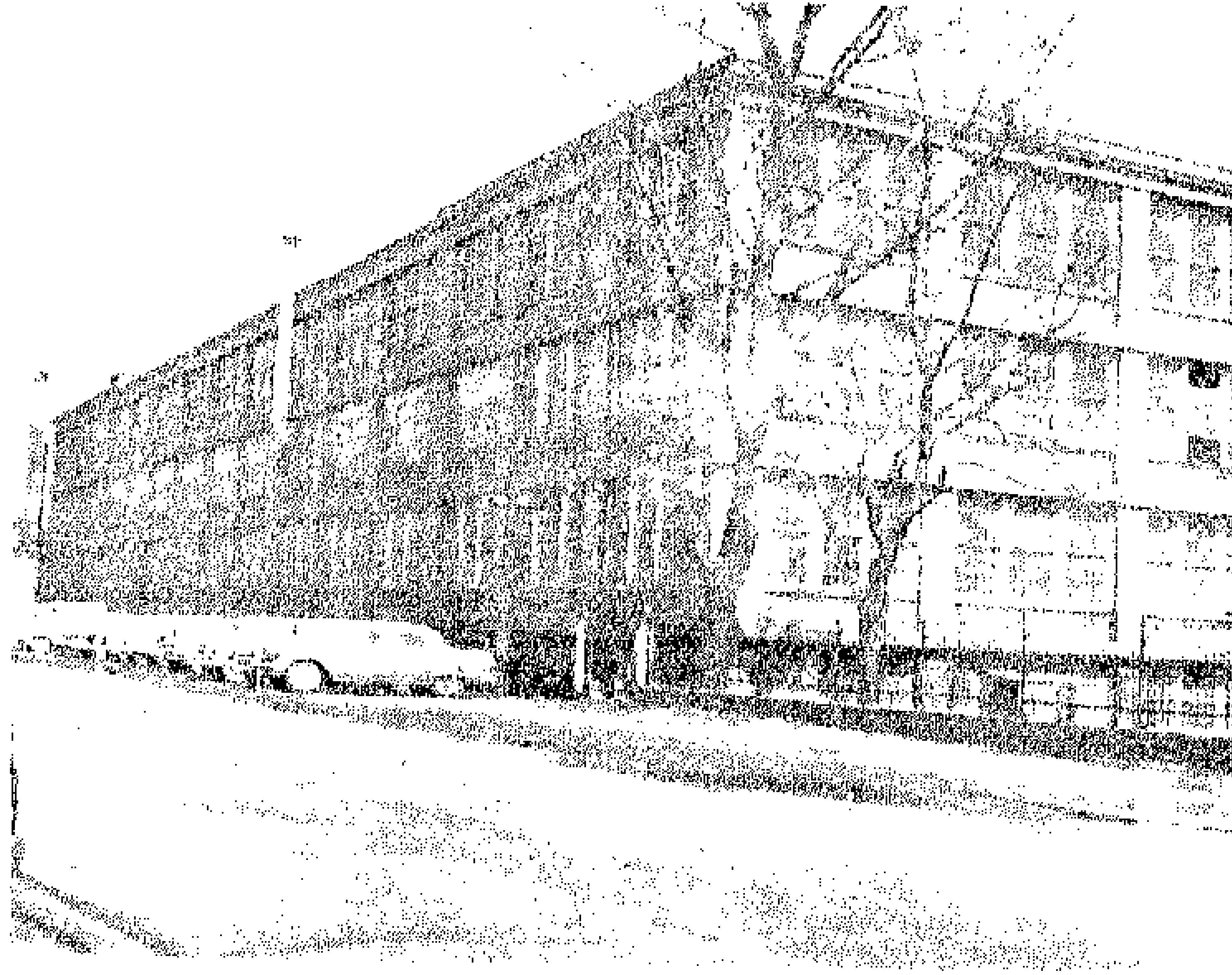
شكل ٤٠



العمارة الصناعية بالخرسانة المسلحة

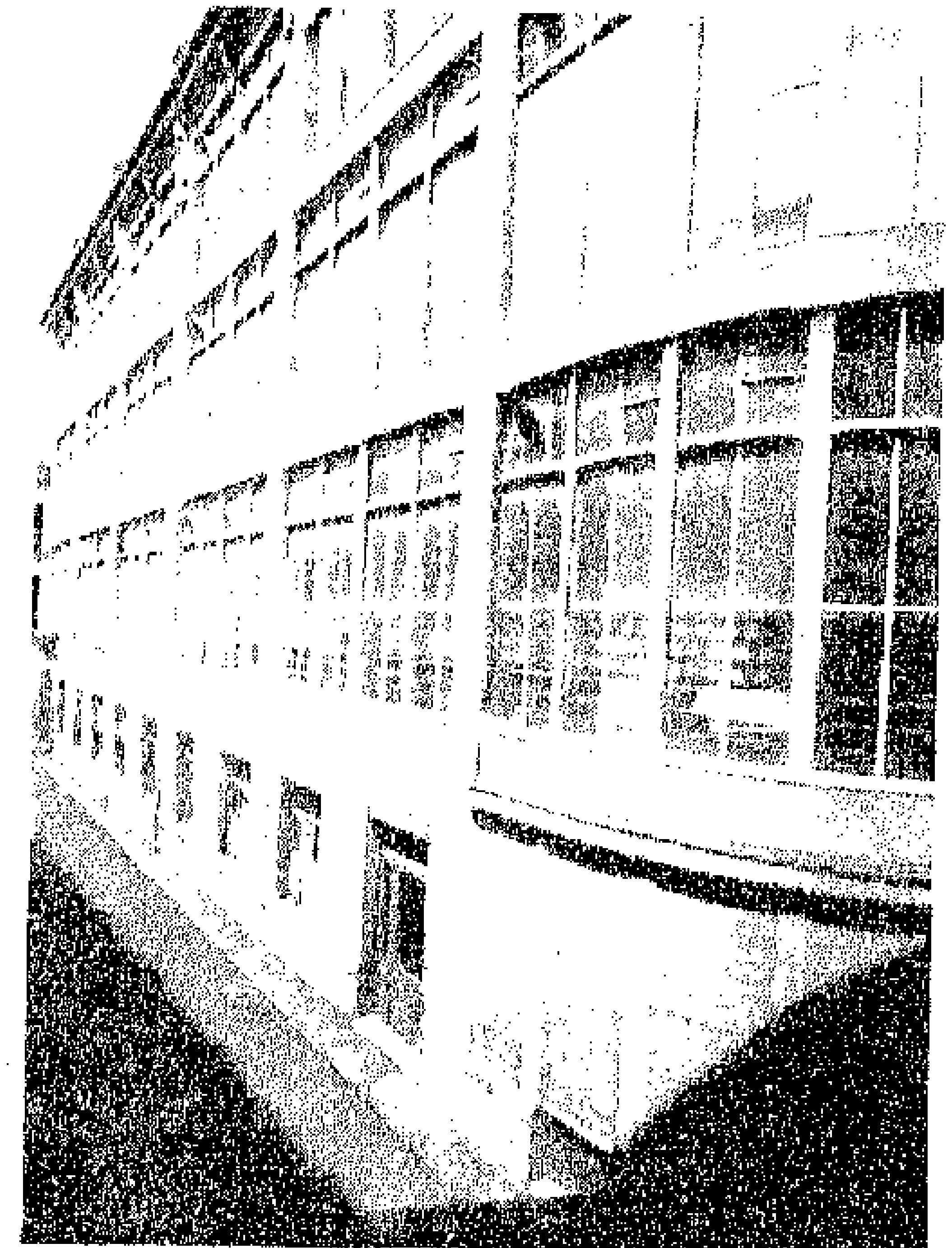
(شكل ٤١) مغزل شارلزسكس فى توركون بفرنسا سنة ١٨٦٥ — المهندس هنبيك .

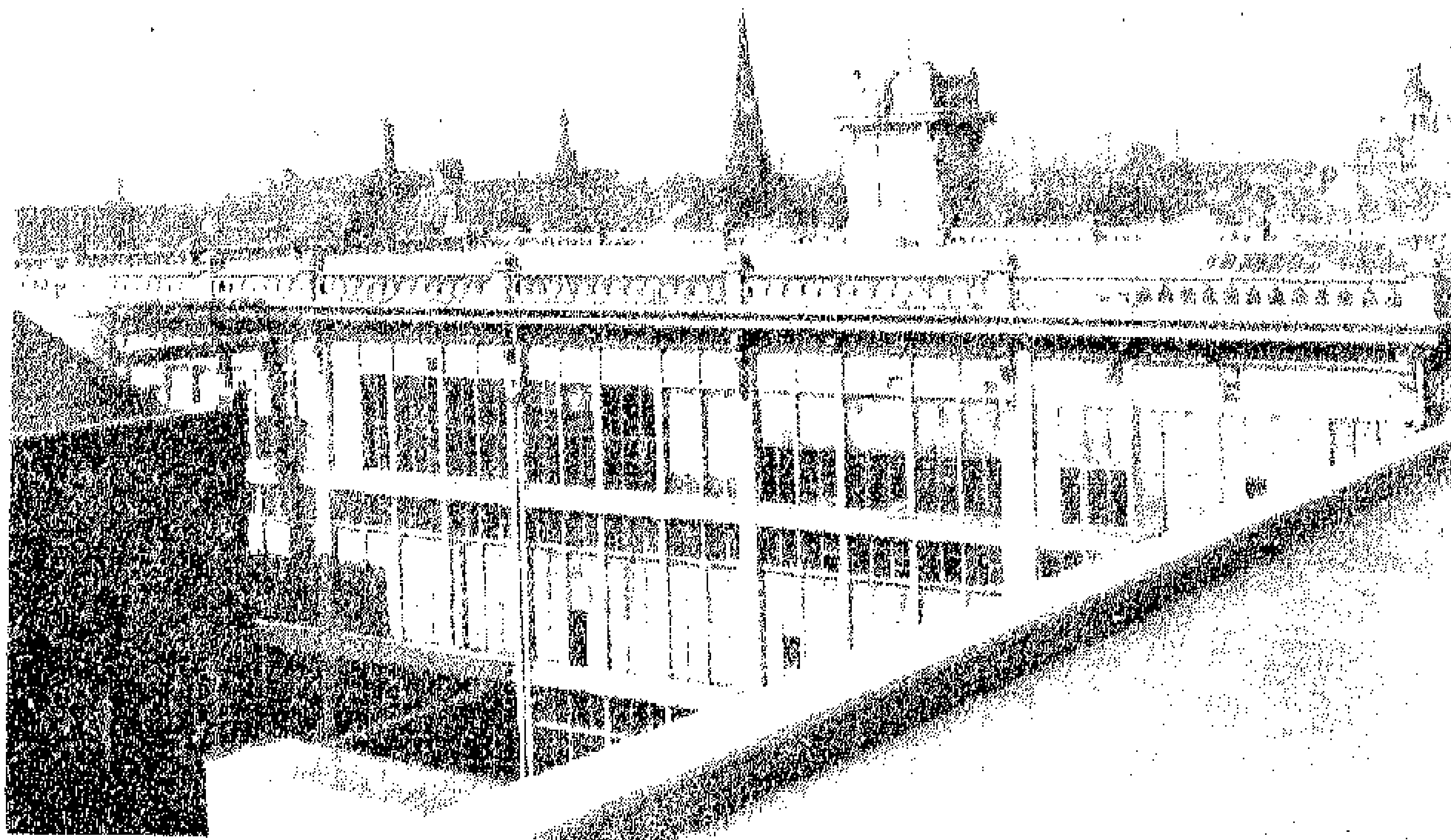
(شكل ٤٢) مصنع كيالى وجونز فى جرينز بيرج بينسلڤانيا المهندس — رانسوم .



شكل ٤٢

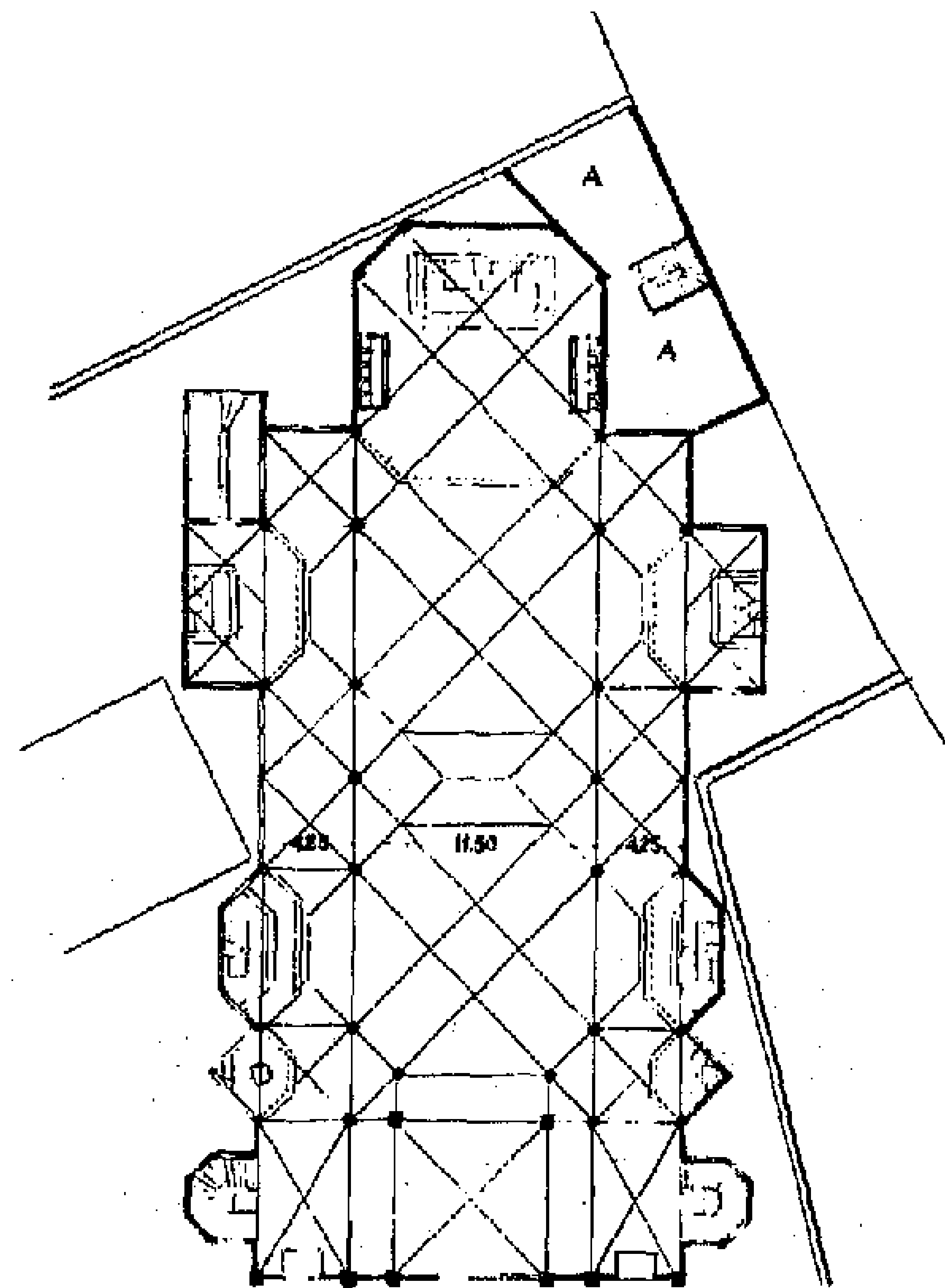
شكل ٤١







شكل ٤٣

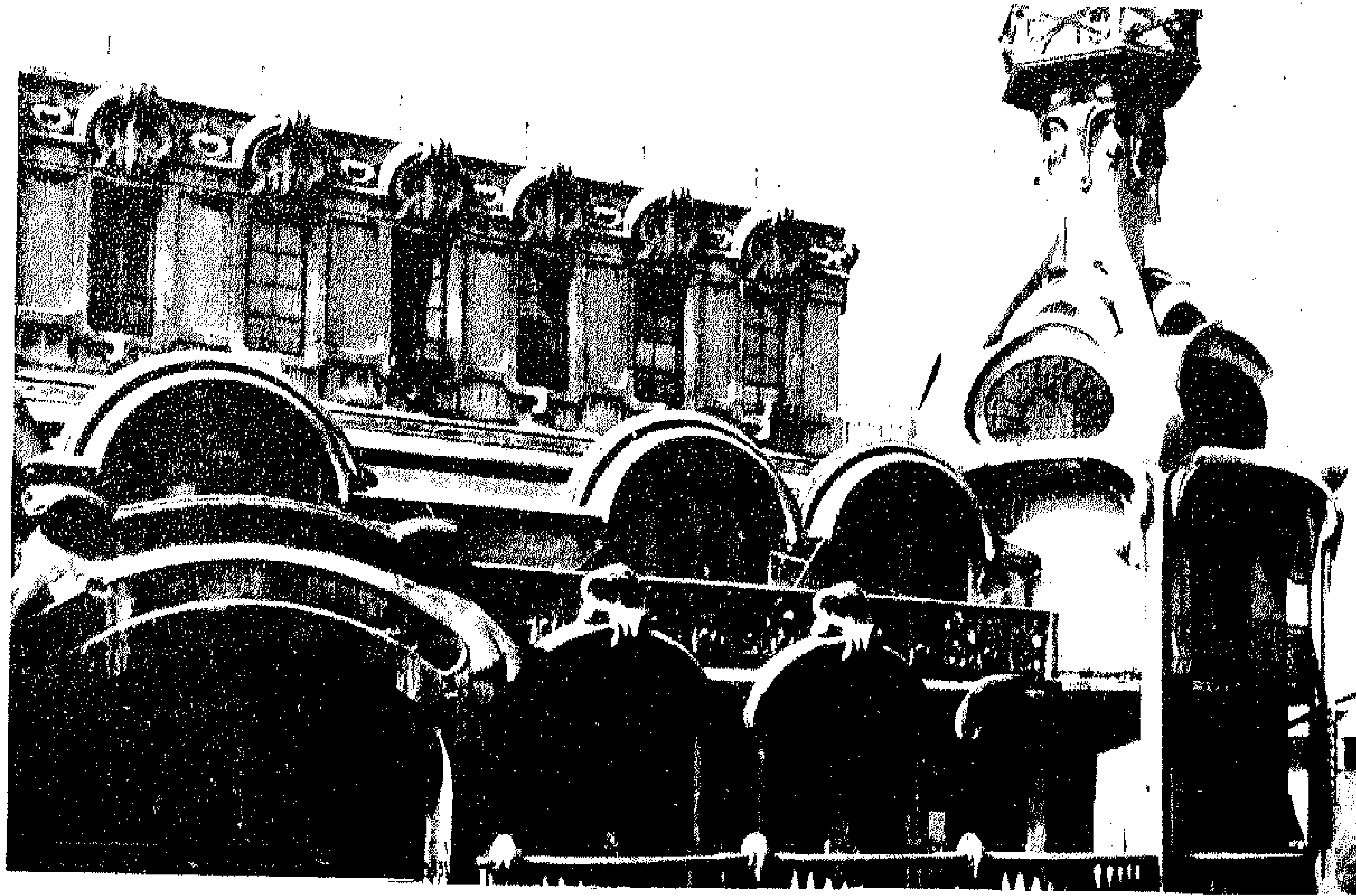


شكل ٤٤

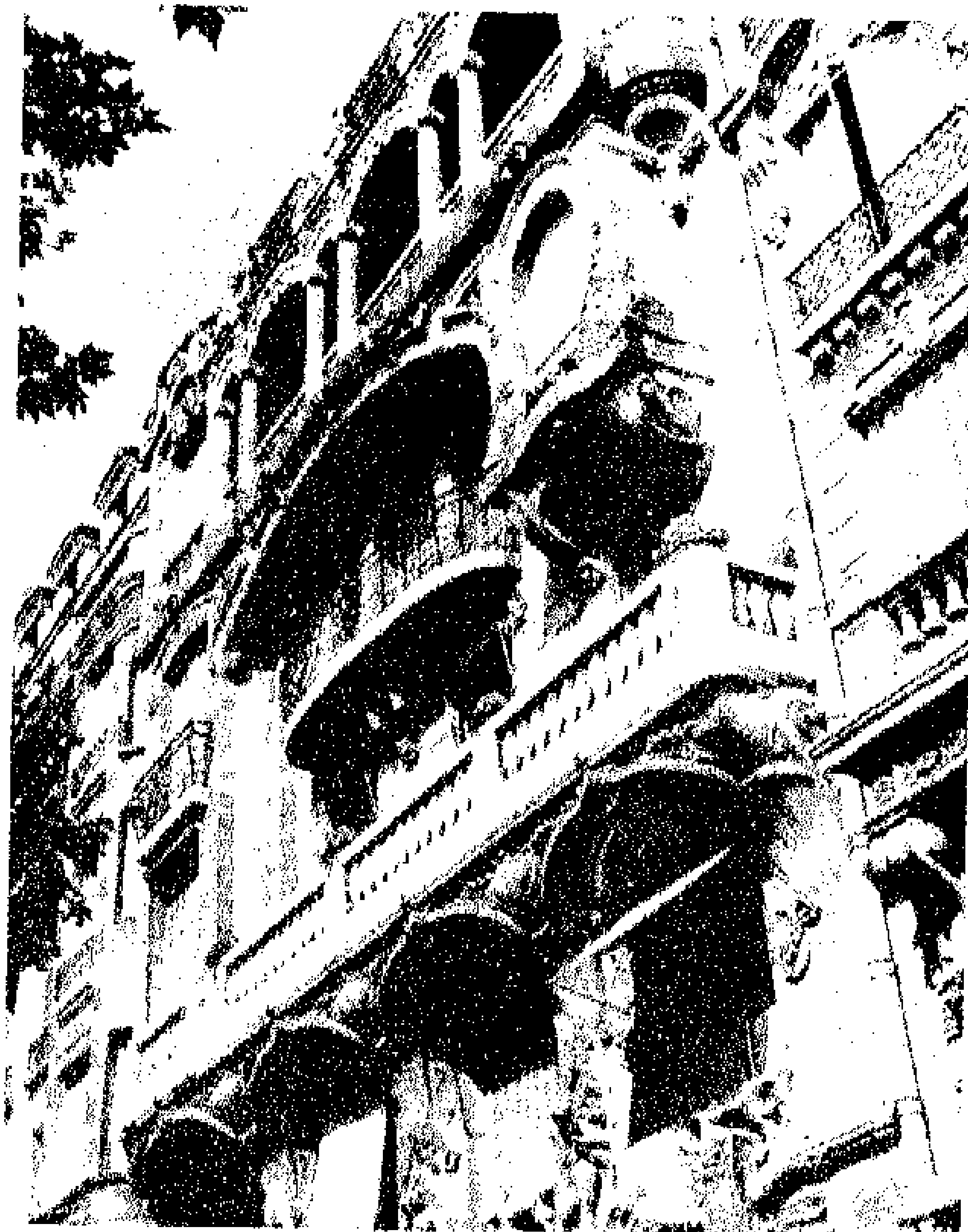
الاتجاه المعماري لأناتول دى بودو

(شكل ٤٣) كنيسة سانت جان دى مونمارتر– ١٨٩٤ – منظر داخلى .
(شكل ٤٤) مسقط الكنيسة .
(شكل ٤٥) قطاع طولى

شكل ٤٥



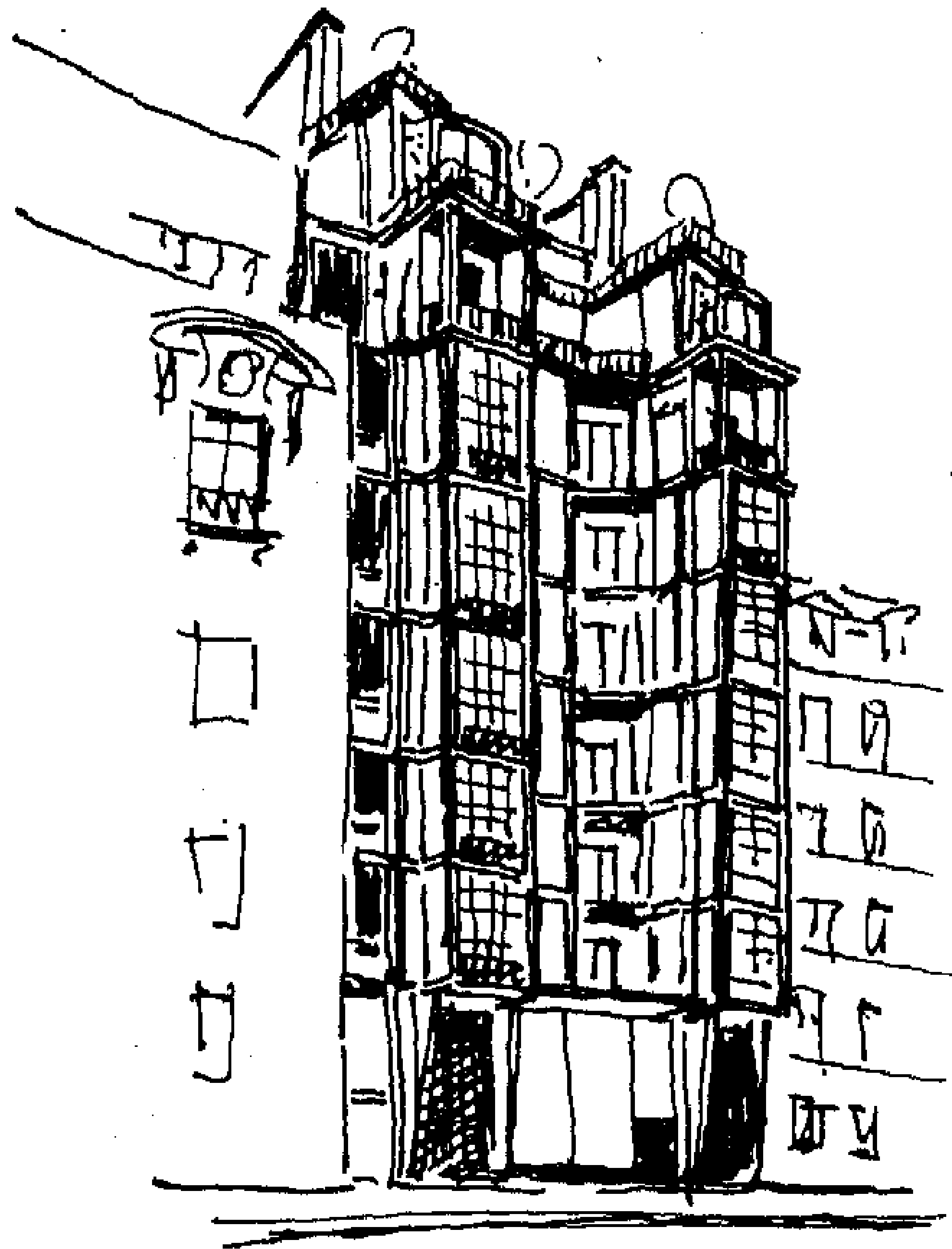
شكل ٦



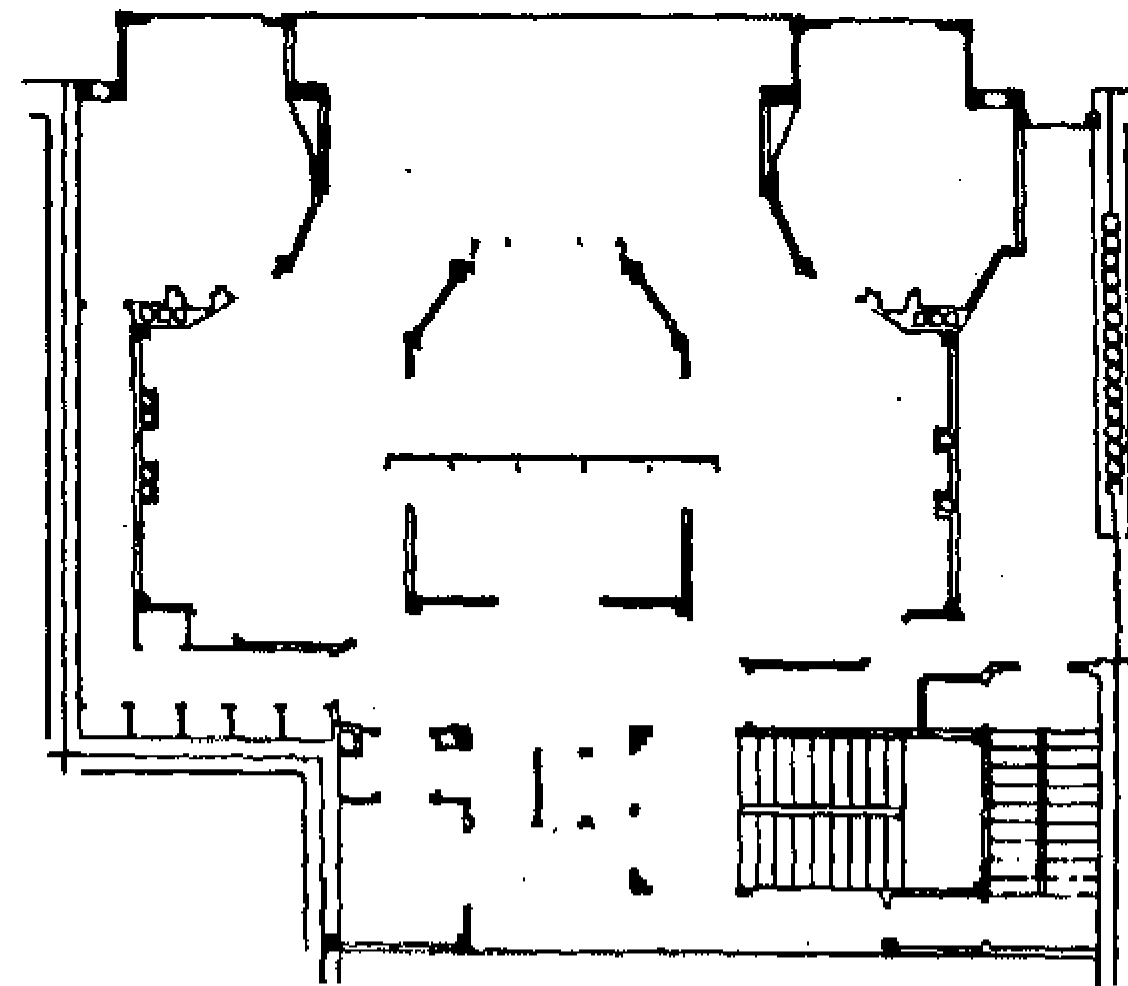
شكل ٤٧

إتجاه الفن الجديد

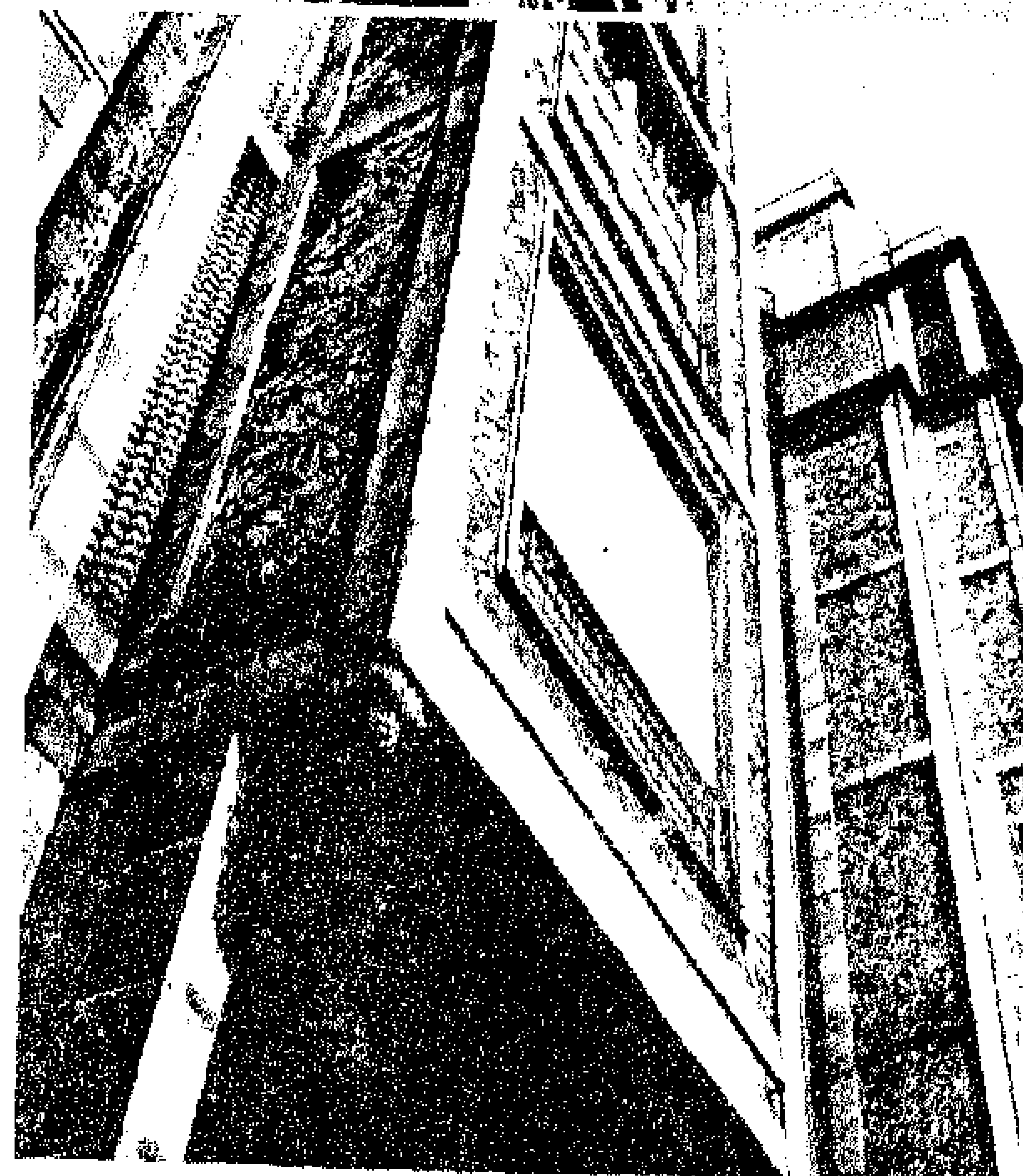
(شكل ٤٦) عمارة محلات فيلكس بوتن سنة ١٩٠٤ — المعمارى أوشيه — طريقة هنبيك.
(شكل ٤٧) عمارة بشارع راب ١٩٠١ — المعمارى لافيروت (طريقة كوتانسين) .



شكل ٤٨



شكل ٤٩



الاتجاه المعماري لأوجست بيريه

(شكل ٤٨) عمارة ٢٥ ب شارع فرانكلين
بباريس ١٩٠٣ – منظور ومسقط .
(شكل ٤٩) تفصيلية للواجهة .

شکل ۵۰

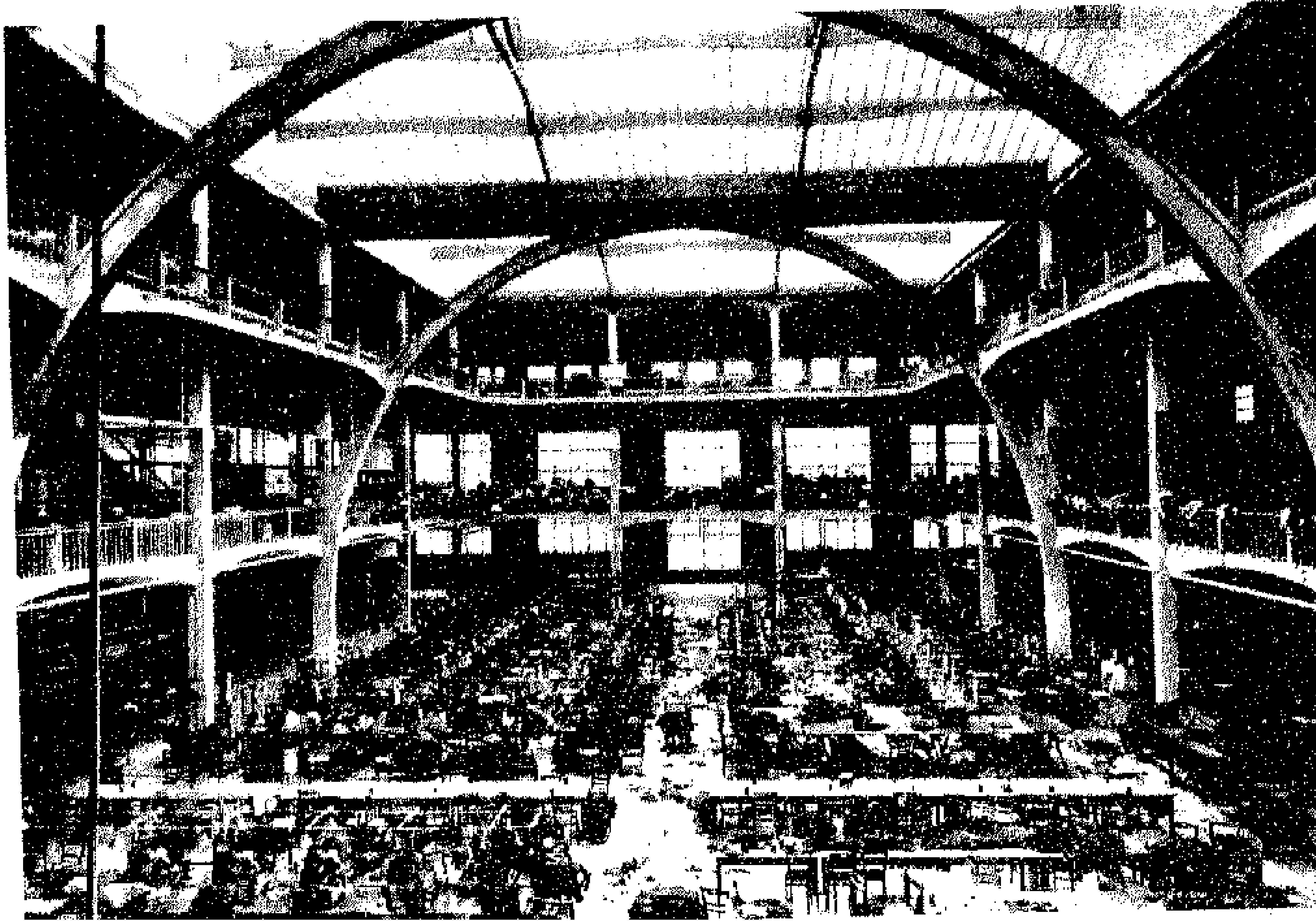


شکل ۵۱



شکل ۵۲

شكل ٥٣



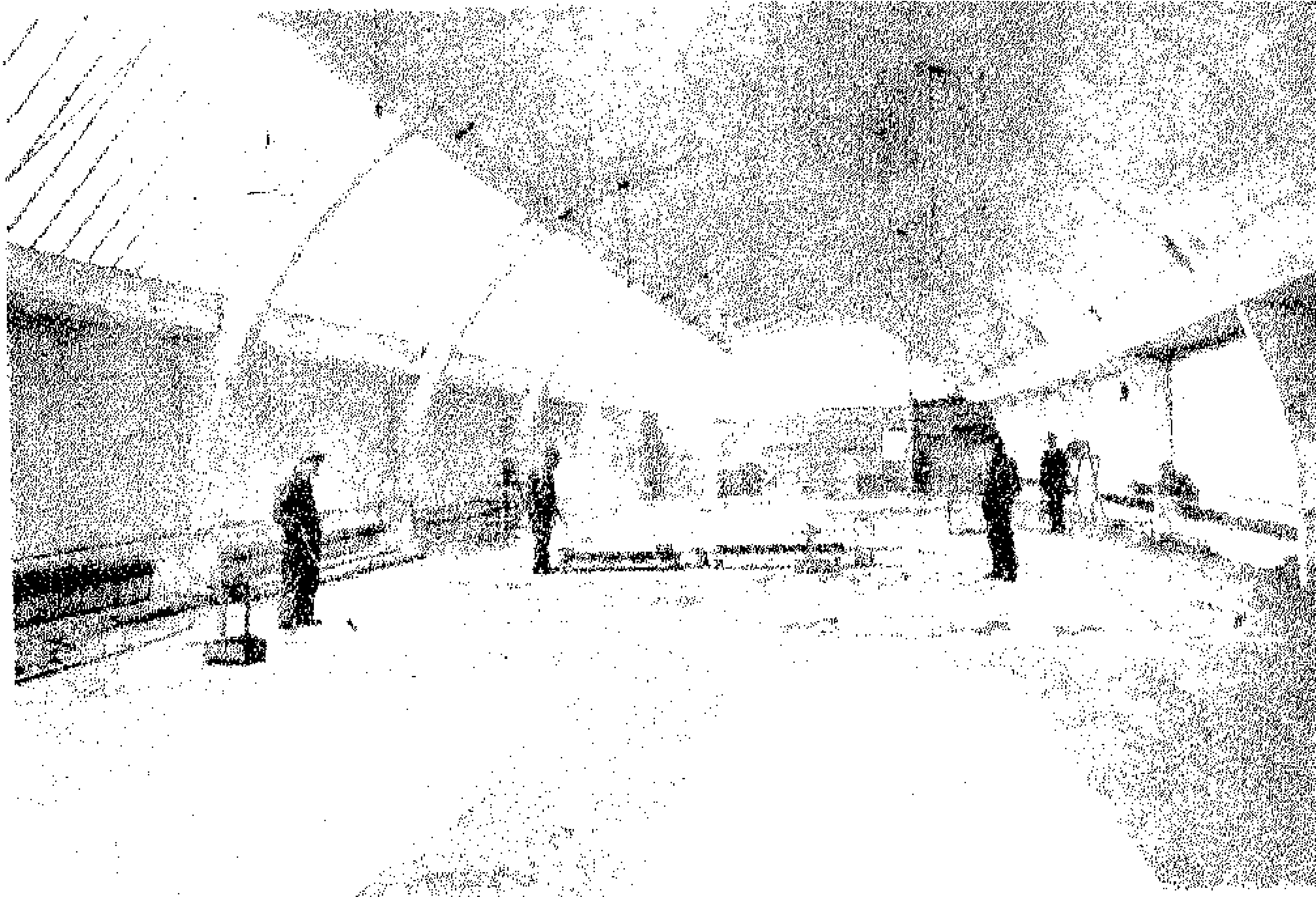
الاتجاه المعمارى لأوجست بيريه

(شكل ٥٠) جراج على شارع بونثيو بباريس – ١٩٠٦ .

(شكل ٥١) مسرح الشانزليزيه – ١٩١١ – الواجهة كما نفذت .

(شكل ٥٢) كنيسة نوتردام دى رانسى بباريس– سنة ١٩٢٢ – ٢٣ .

كل ٥٤



اتجاه أوجست بيريه فى العمارة الصناعية

(شكل ٥٣) مصنع ملابس إسدير شارع ڤيليب – أوجست بباريس ١٩١٩ .

(شكل ٥٤) ستوديو رسم مناظر شارع أوليڤييه – مترا بباريس ١٩٢٣.

شكل ٥٥



شكل ٥٦



الاتجاه المعمارى لأوجست بيريه

(شكل ٥٥) متحف الأشغال العامة بباريس سنة ١٩٣٨ - منظور داخلى .

(شكل ٥٦) منظور خارجى للمتحف.

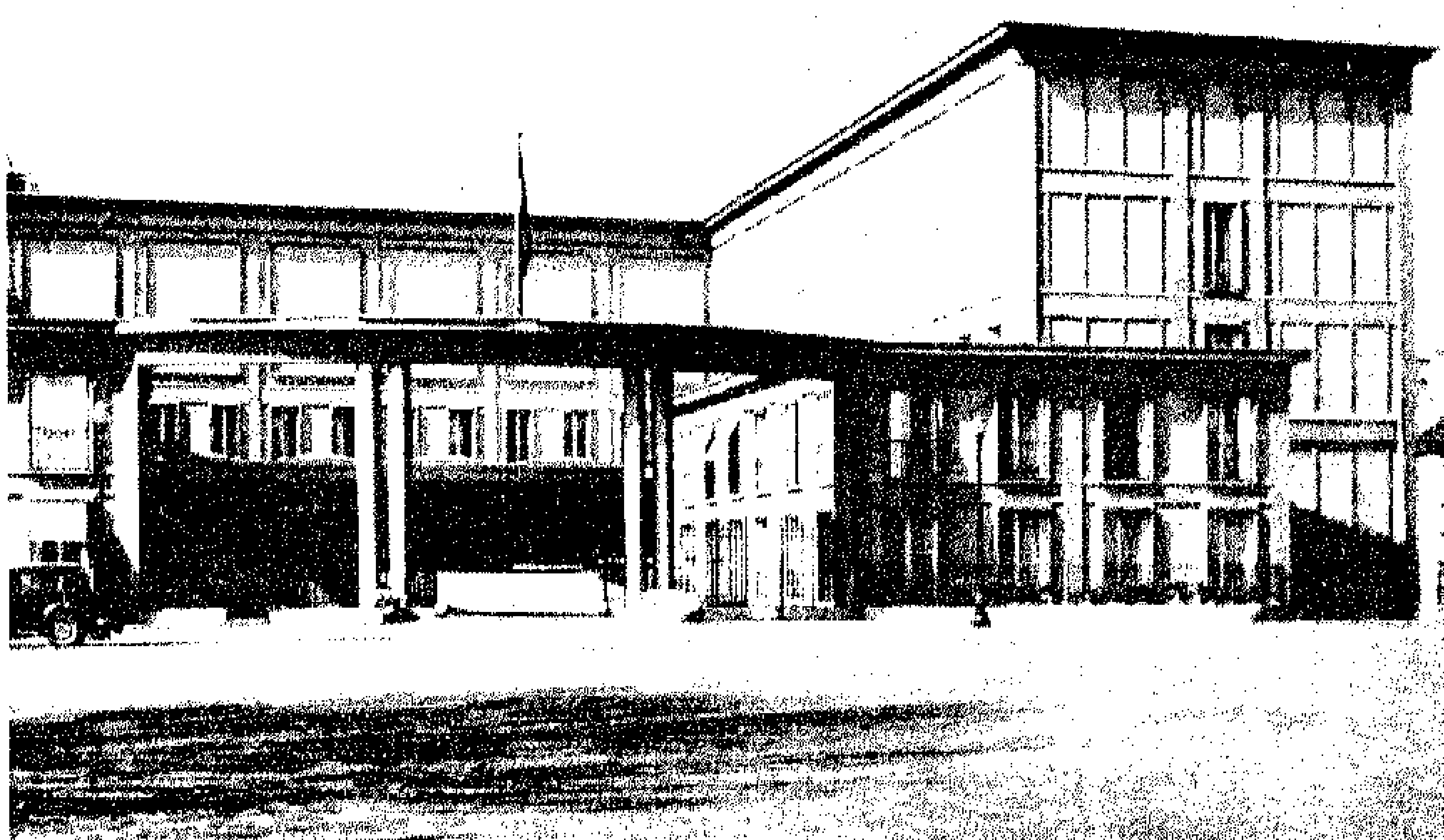
(شكل ٥٧) عمارة بشارع رينوارد بباريس - سنة ١٩٢٩ .

(شكل ٥٨) متحف الموبيليا القومى - واجهة أمامية سنة ١٩٣٥ .

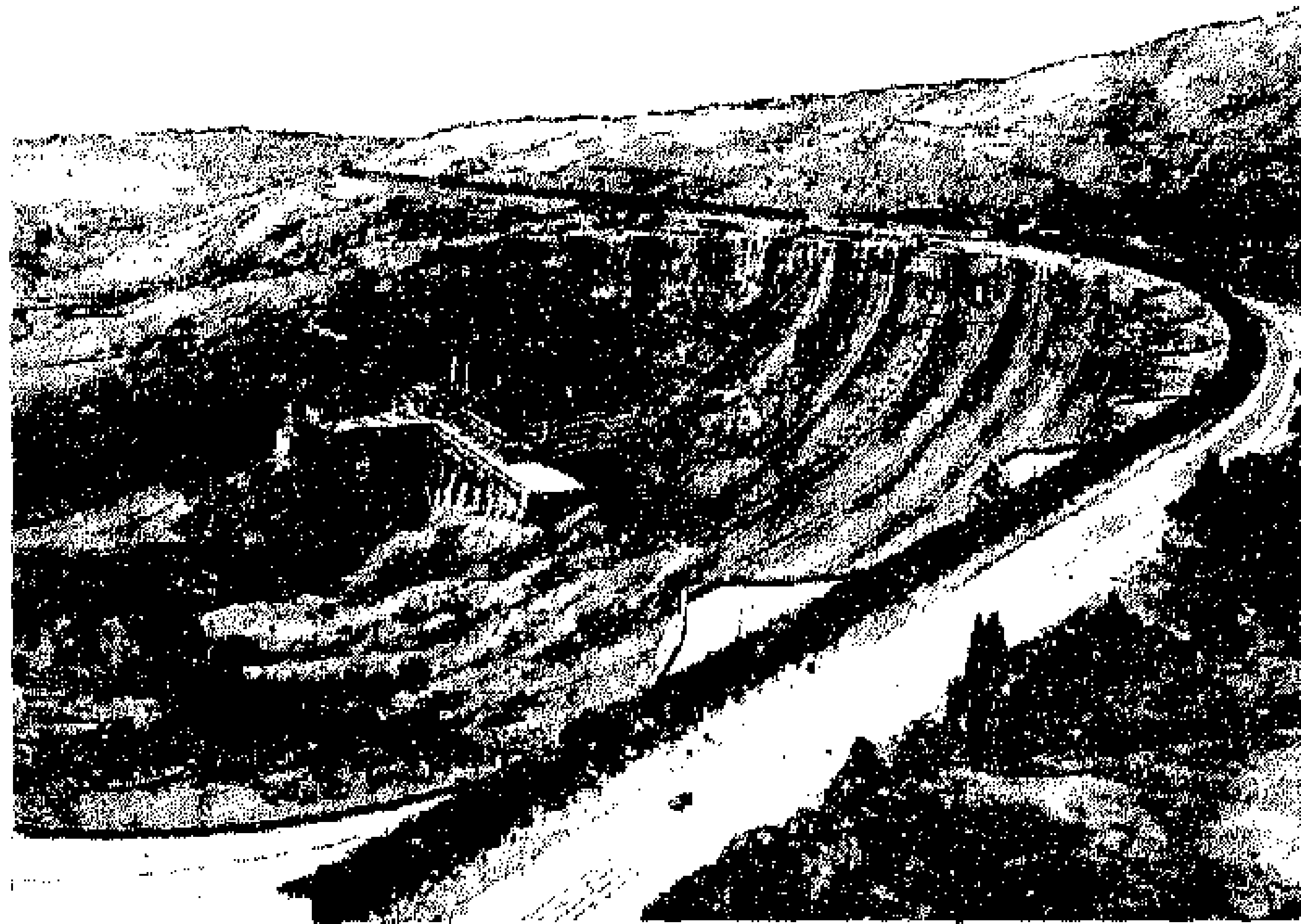
شكل ٥٧



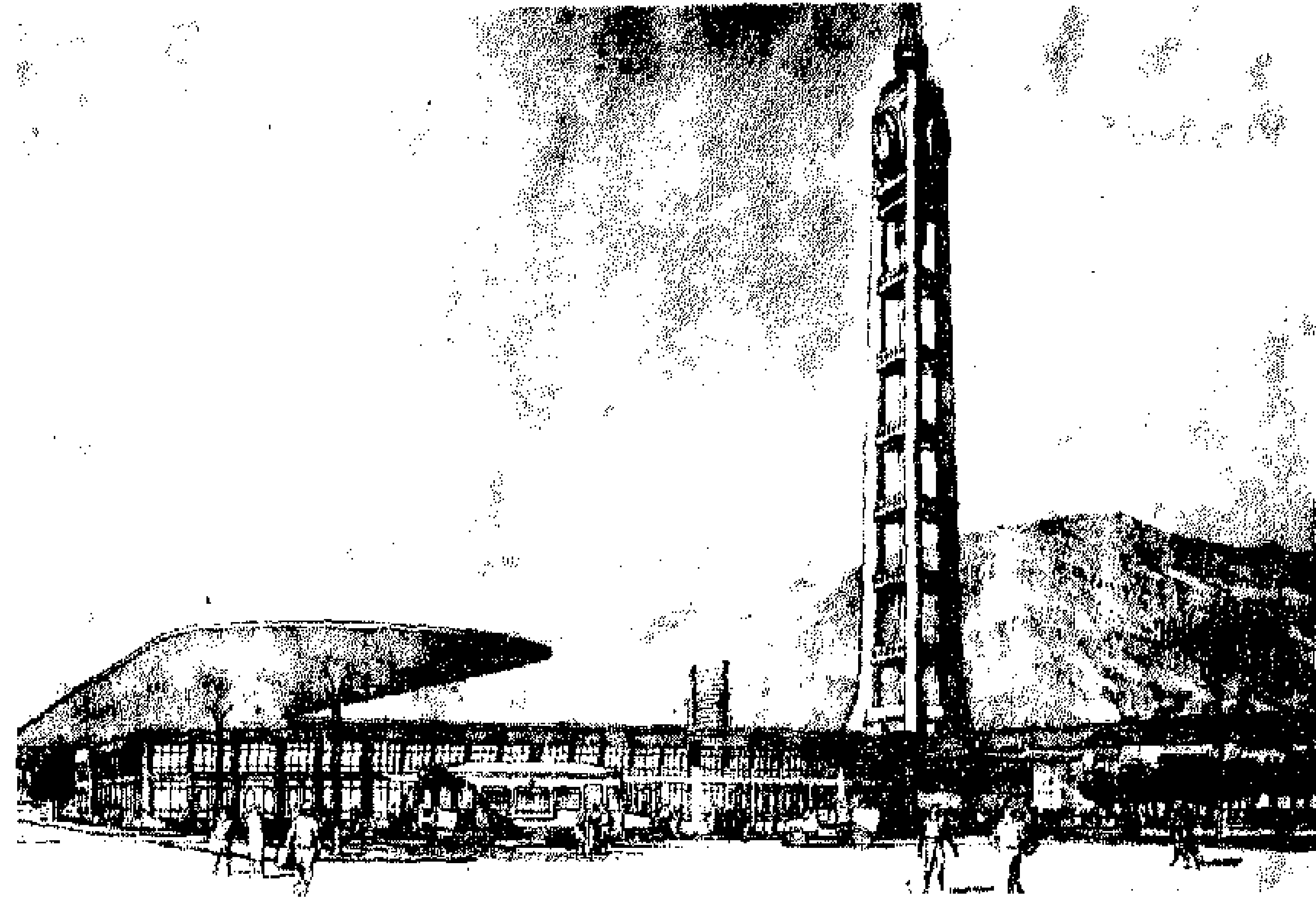
شكل ٥٨

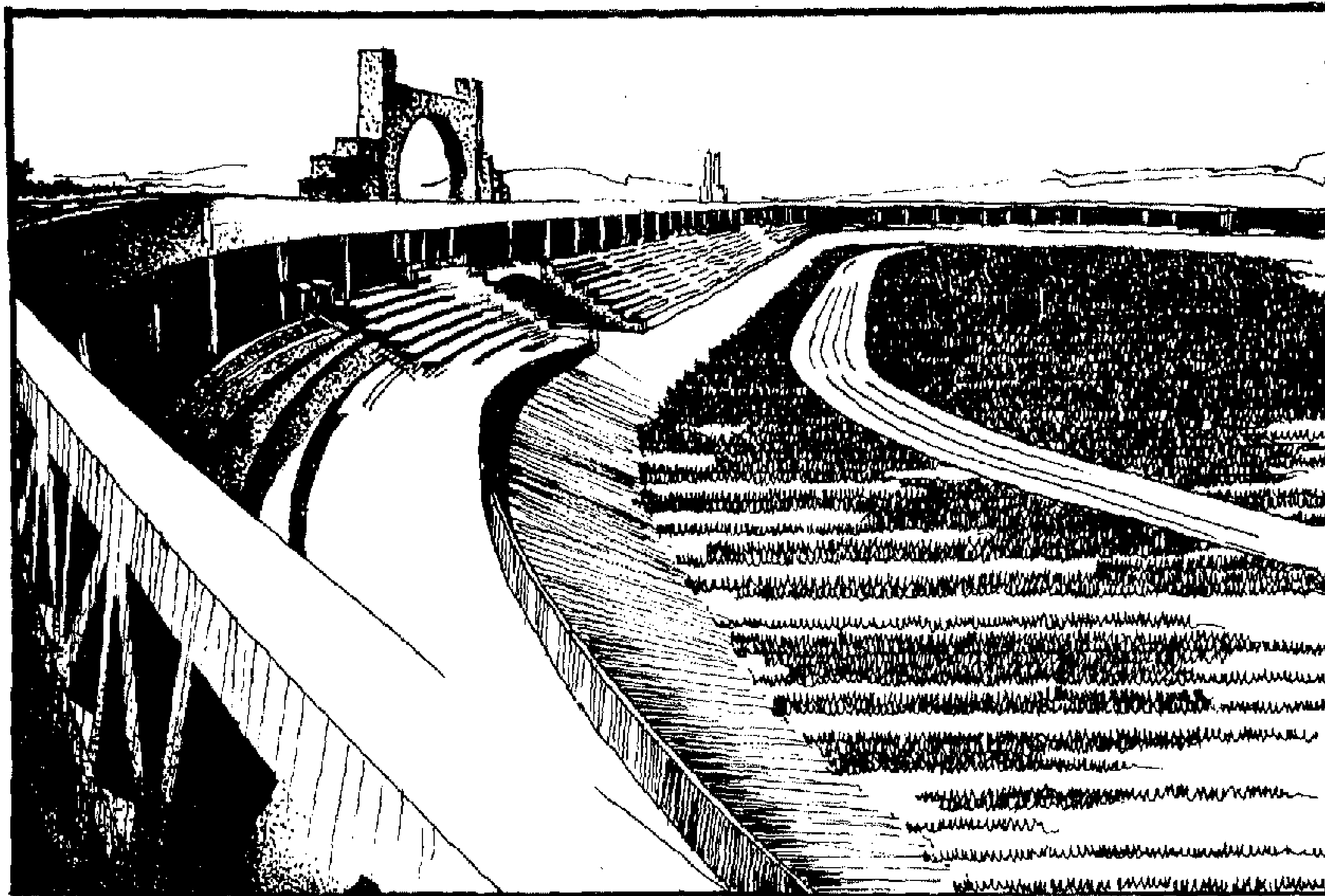


شكل ٦٠



شكل ٥٩





شكل ٦١

الاتجاه المعمارى لتونى جارنيه

(شكل ٥٩) تصميم لمحطة سكك حديدية بمشروعة «المدينة الصناعية». سنة ١٩٠١–٤

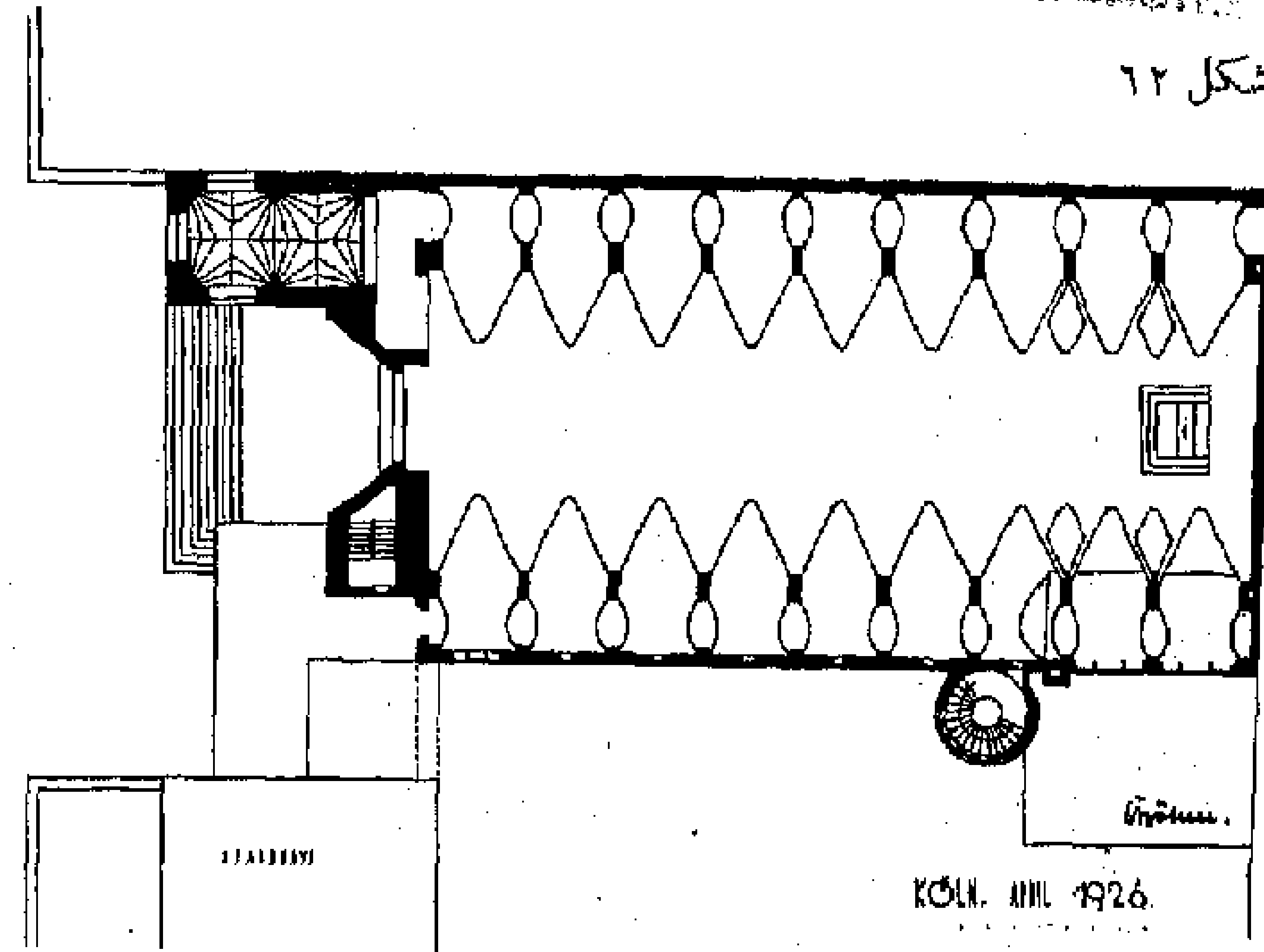
(شكل ٦٠) تصميم قناطر المياه بالمدينة الصناعية ١٩٠١ – ٤ .

(شكل ٦١) استاد رياضى بمدينة ليون سنة ١٩١٠ .

شكل ٦٣



شكل ٦٢



الاتجاه المعمارى لدومينكس بوم

(شكل ٦٢) الكنيسة الكاثوليكية فى بيشوفشايم بألمانيا .

(شكل ٦٣) منظور داخلى بالكنيسة الكاثوليكية فى بيشوفشايم بألمانيا .

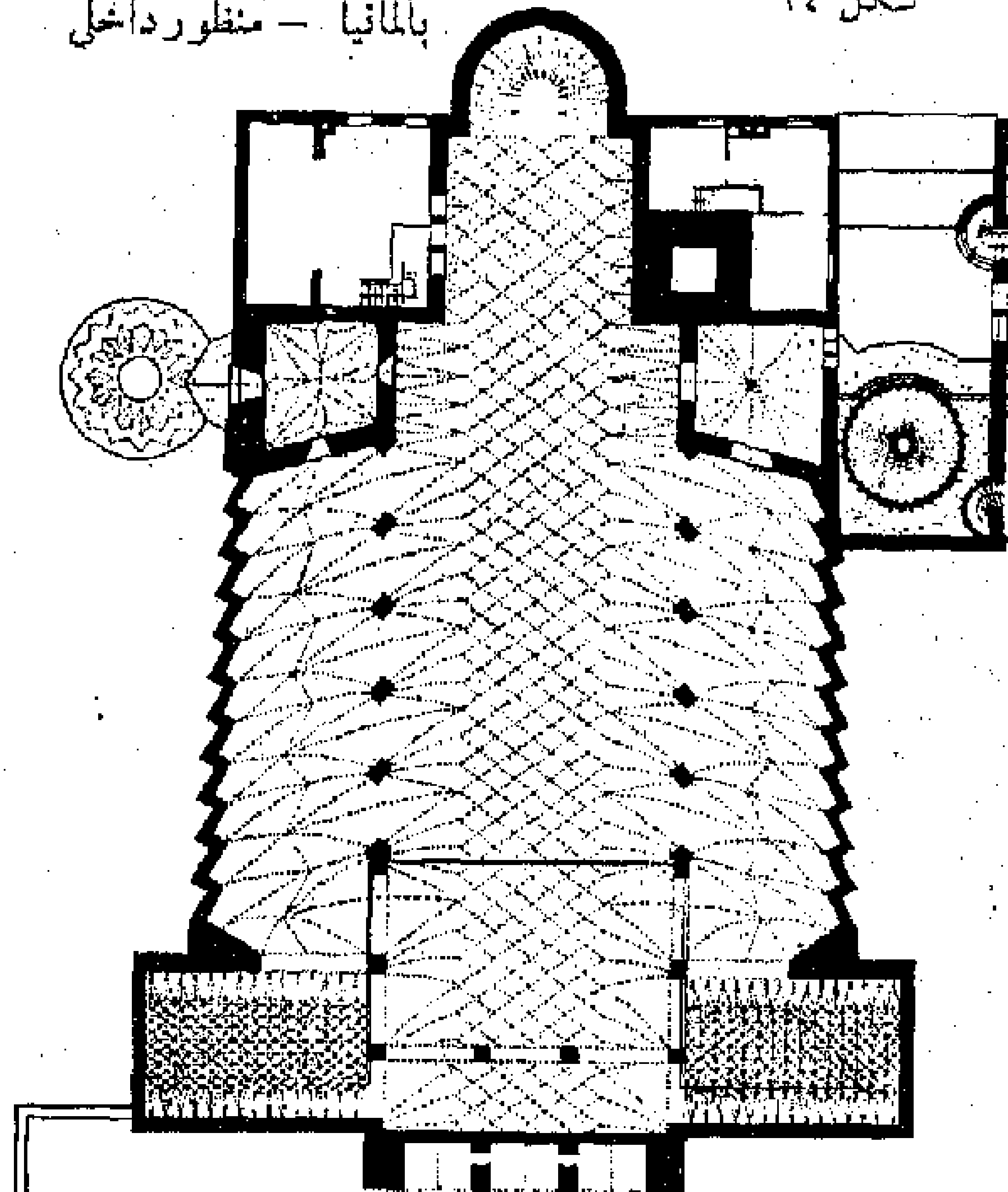
(شكل ٦٤) كنيسة ذكرى الحرب فى نيوألم بألمانيا سنة ١٩٢٦ – مسقط .

(شكل ٦٥) كنيسة ذكرى الحرب فى نيوألم بألمانيا – منظور داخلى

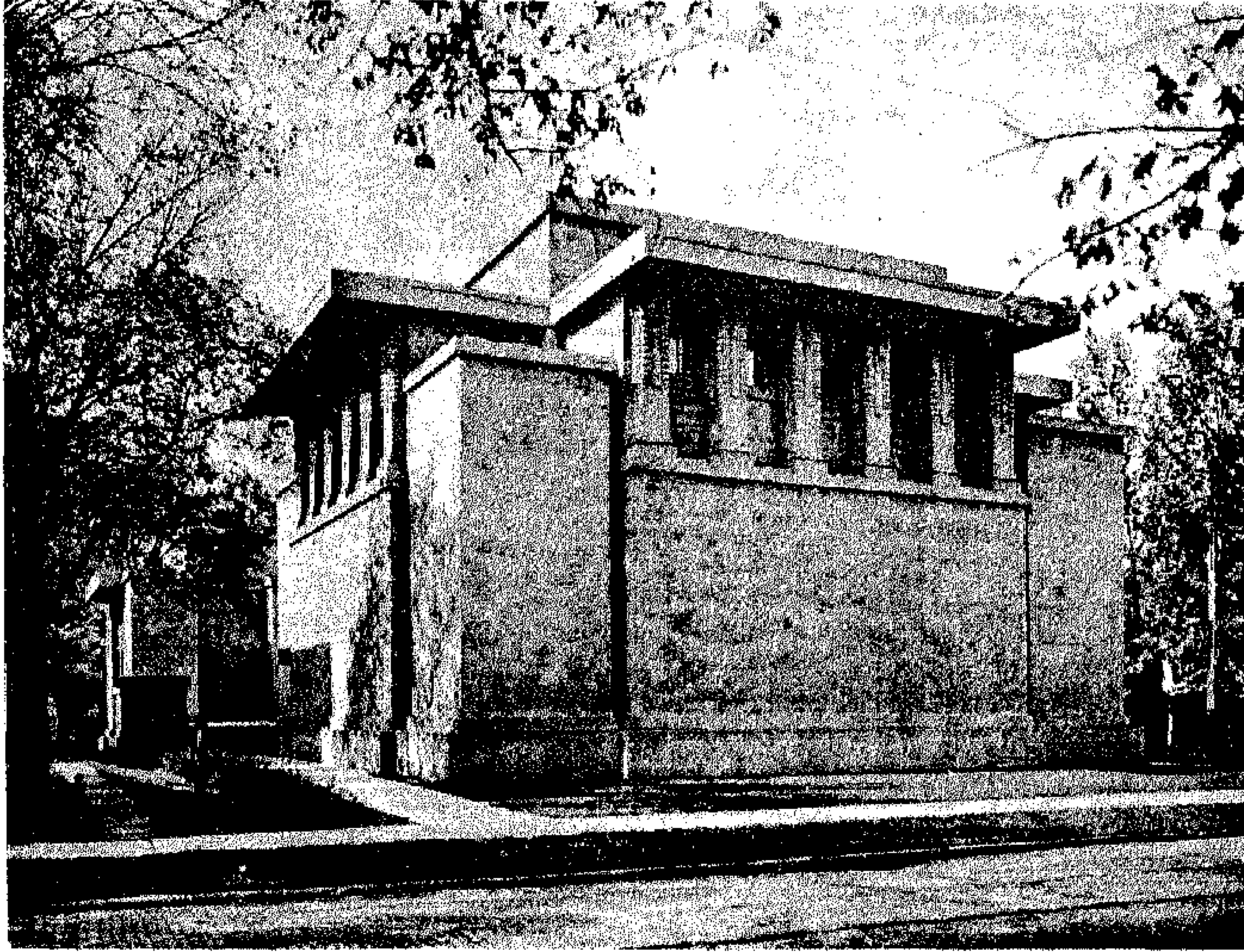
شكل ٦٥



شكل ٦٤



شكل ٦٦



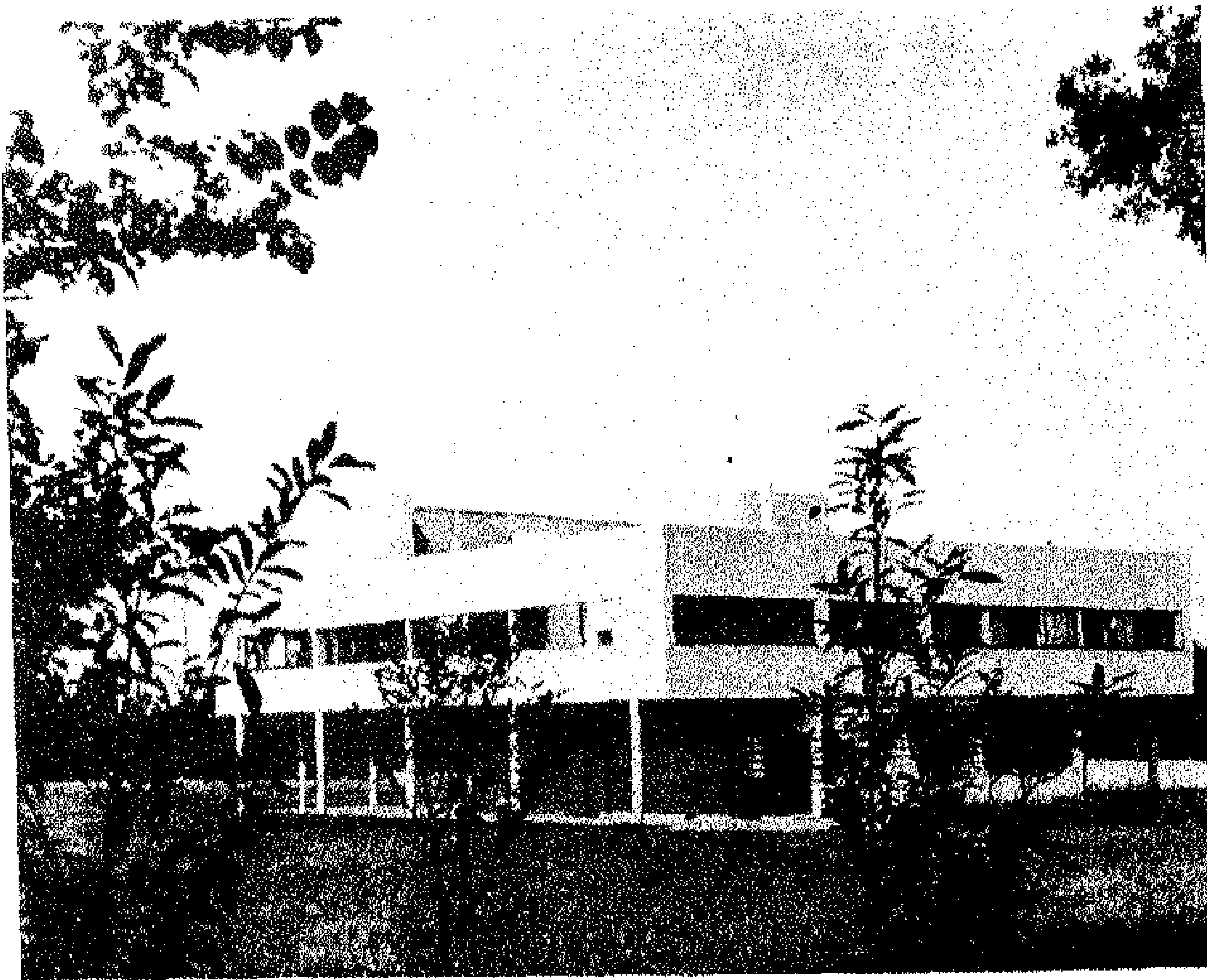
شكل ٦٧



اتجاهات معمارية خاصة بالخرسانة

(شكل ٦٦) معبد يونتي فى أوك بارك الينوي سنة ١٩٠٦ — المهندس فرانك لويد رايت ..
(شكل ٦٧) مبنى جوتيتيانم فى دورناك بمدينة باسل (١٩٢٥—٨) بسويسرا—المعماري شتاينر.

شكل ١



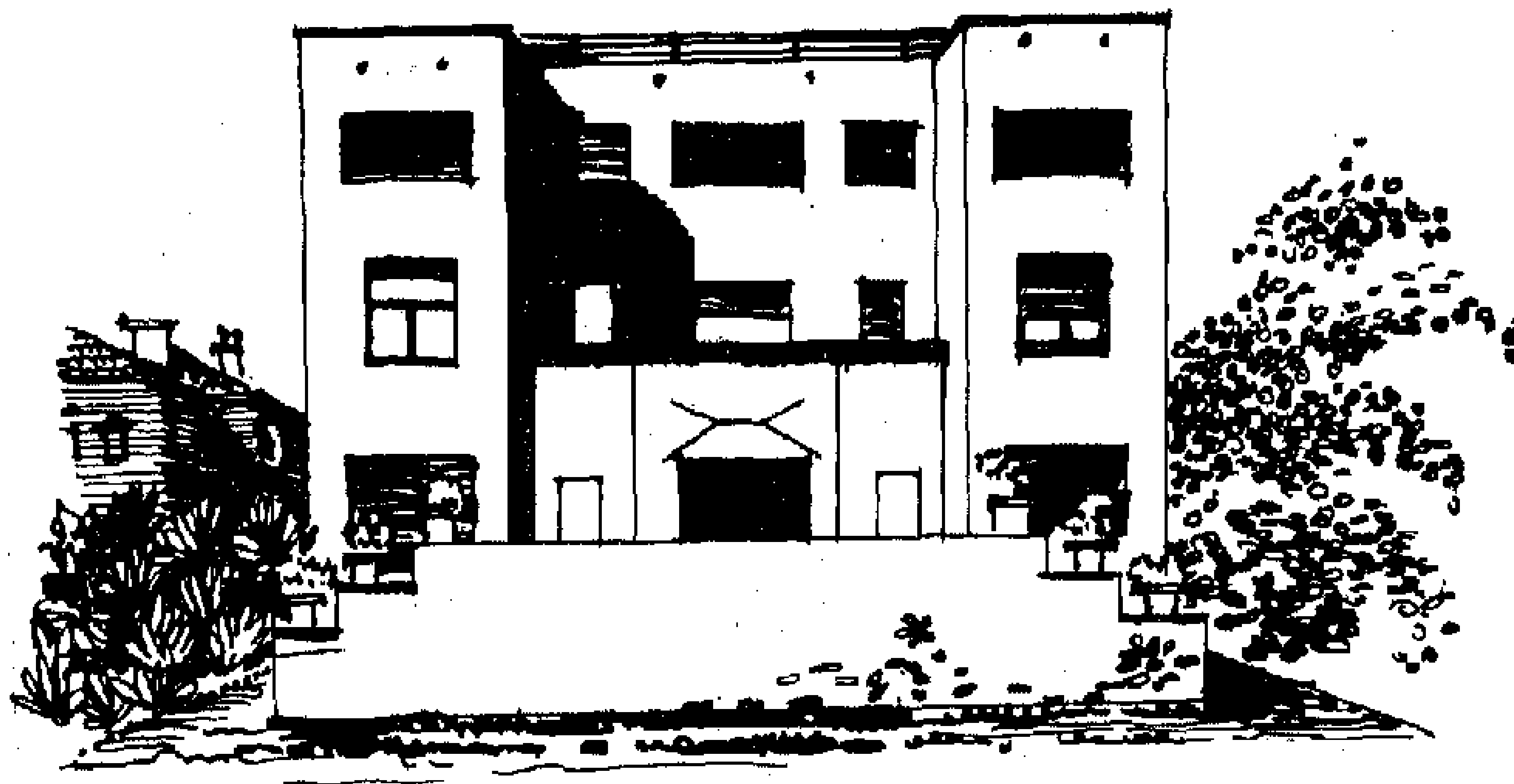
اتجاهات معمارية خاصة

(شكل ٦٨) ڤيلا ساڤوى ١٩٢٩ – ٣٠ – المهندس لوكوربوزييه ، بواسى على السين – فرنسا .

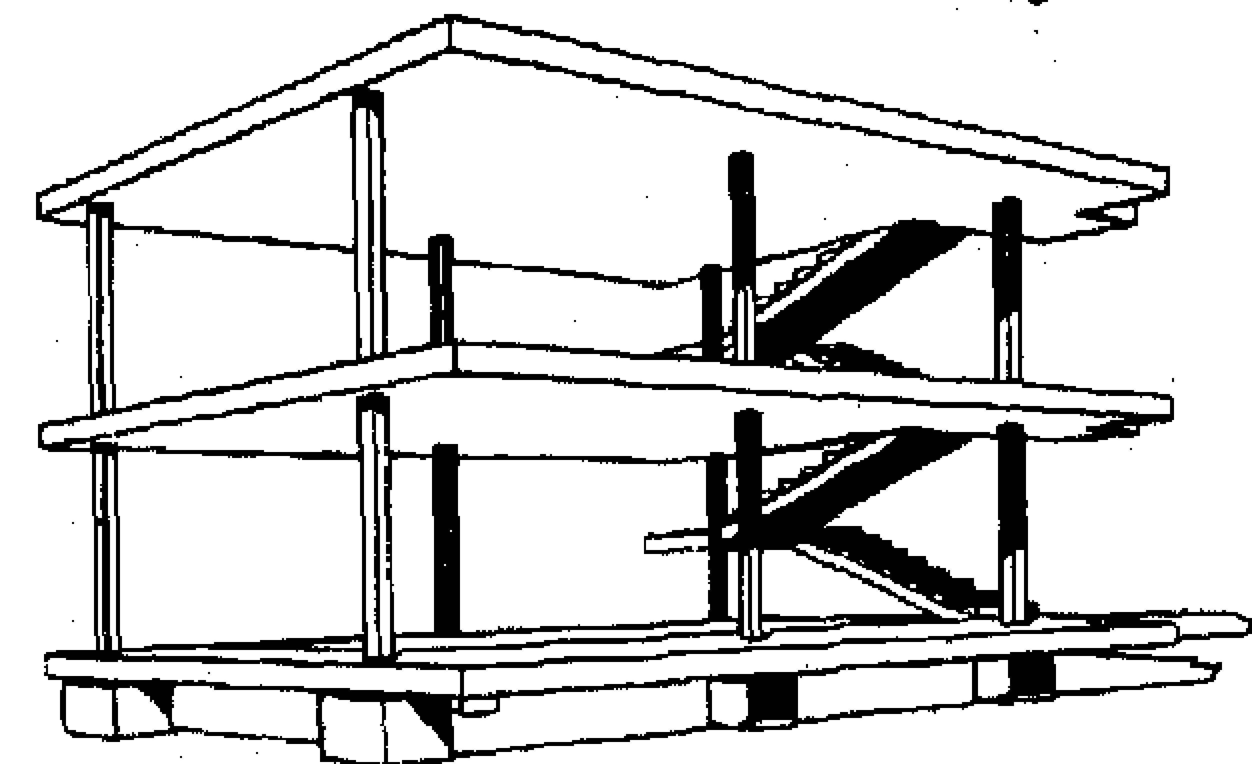
(شكل ٦٩) الإنشاء الخرسانى بالعمود والبلاطة لمنازل دوم– إينو المهندس لوكوربوزييه ١٩١٤ .

(شكل ٧٠) منزل ستاينر ١٩١٠ – المهندس أدولف لوس .

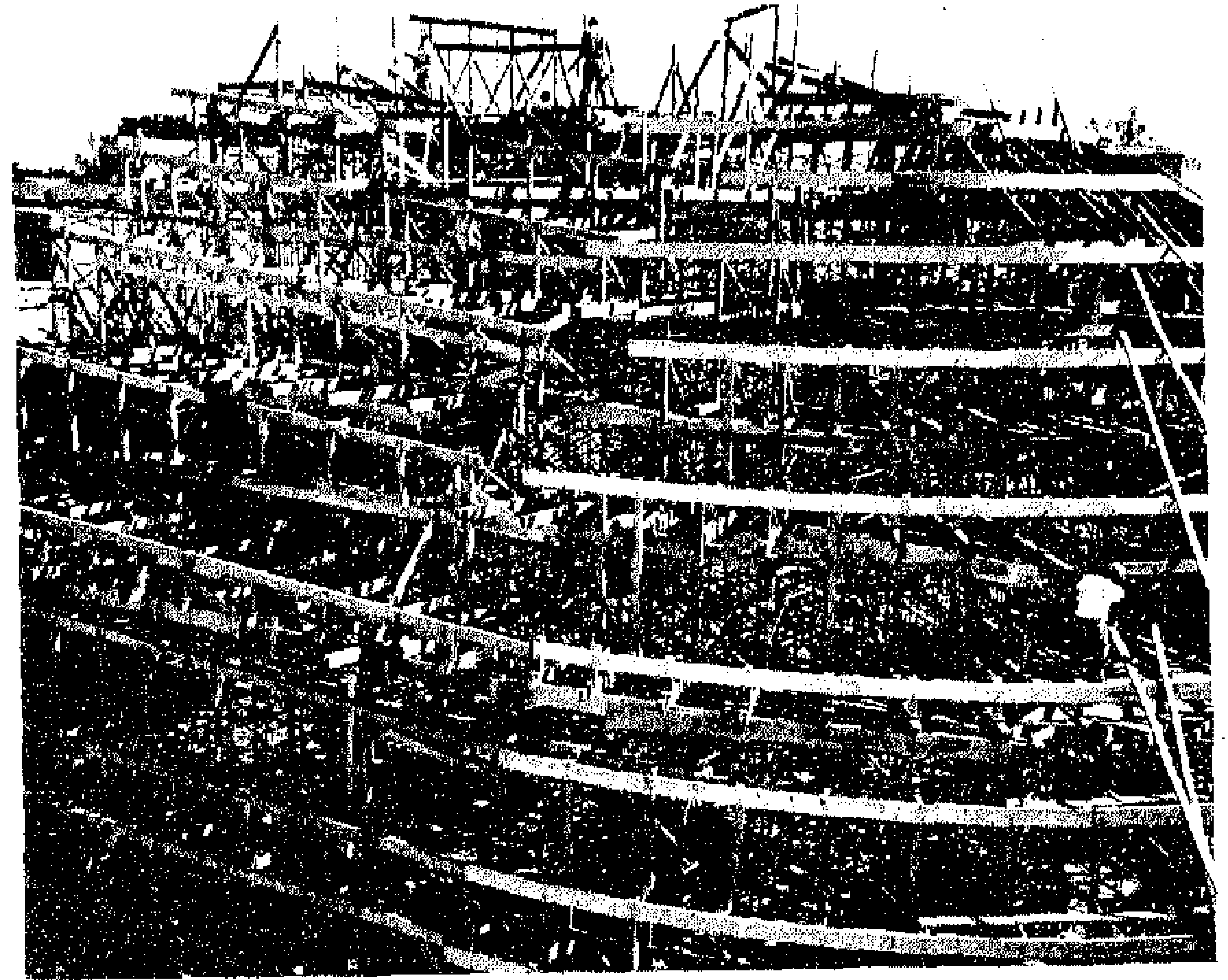
شكل ٧٠



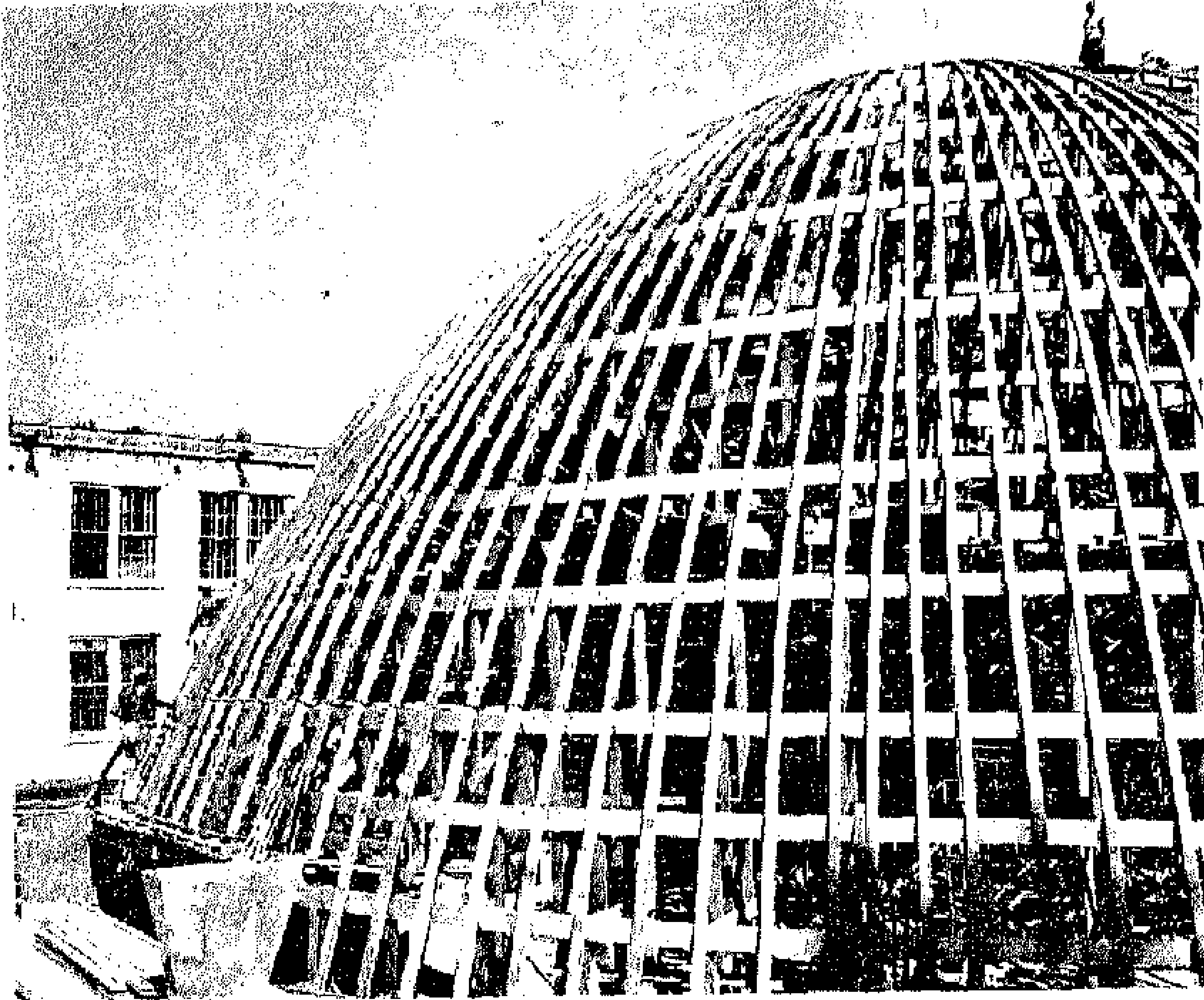
شكل ٦٩

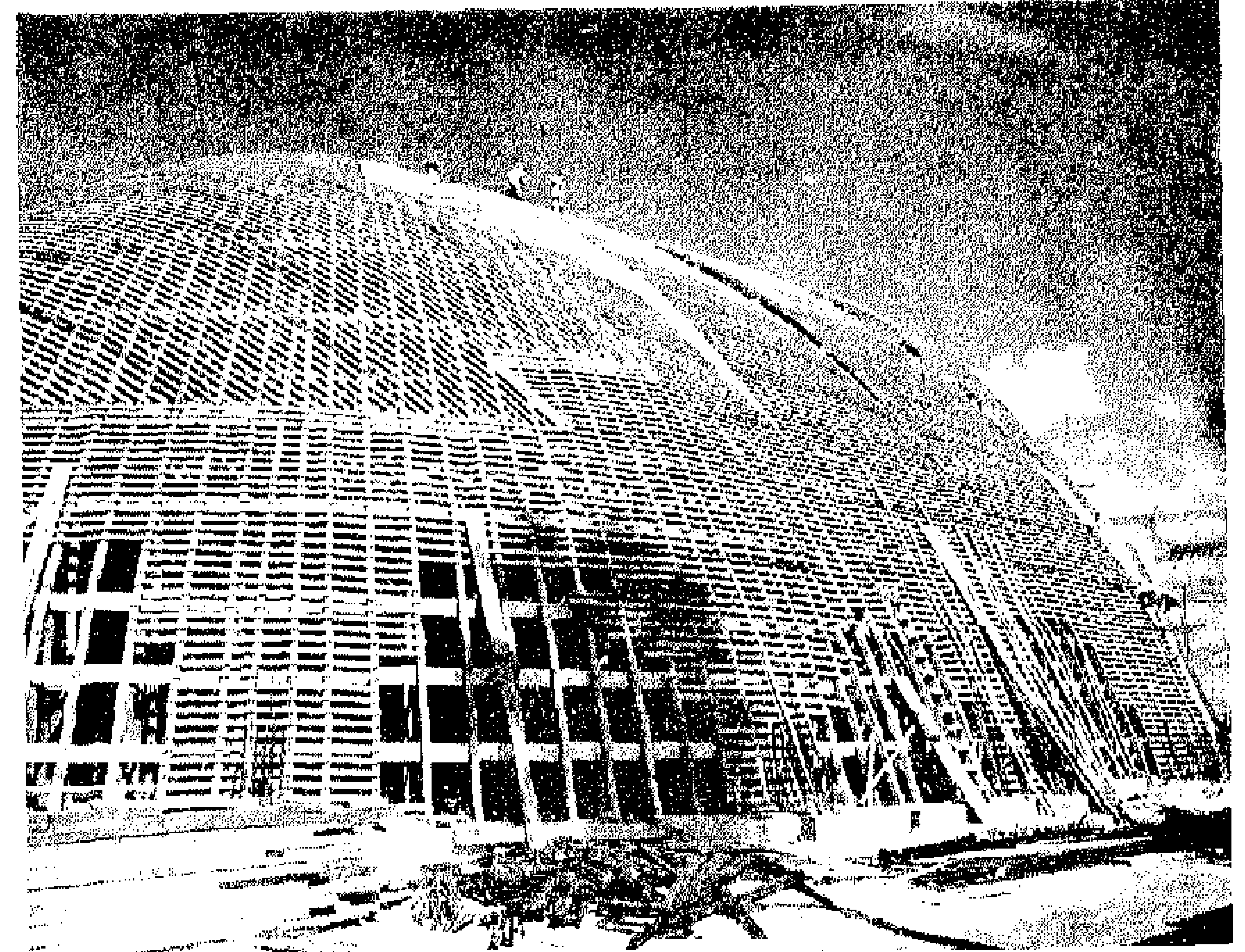


شكل ٧١

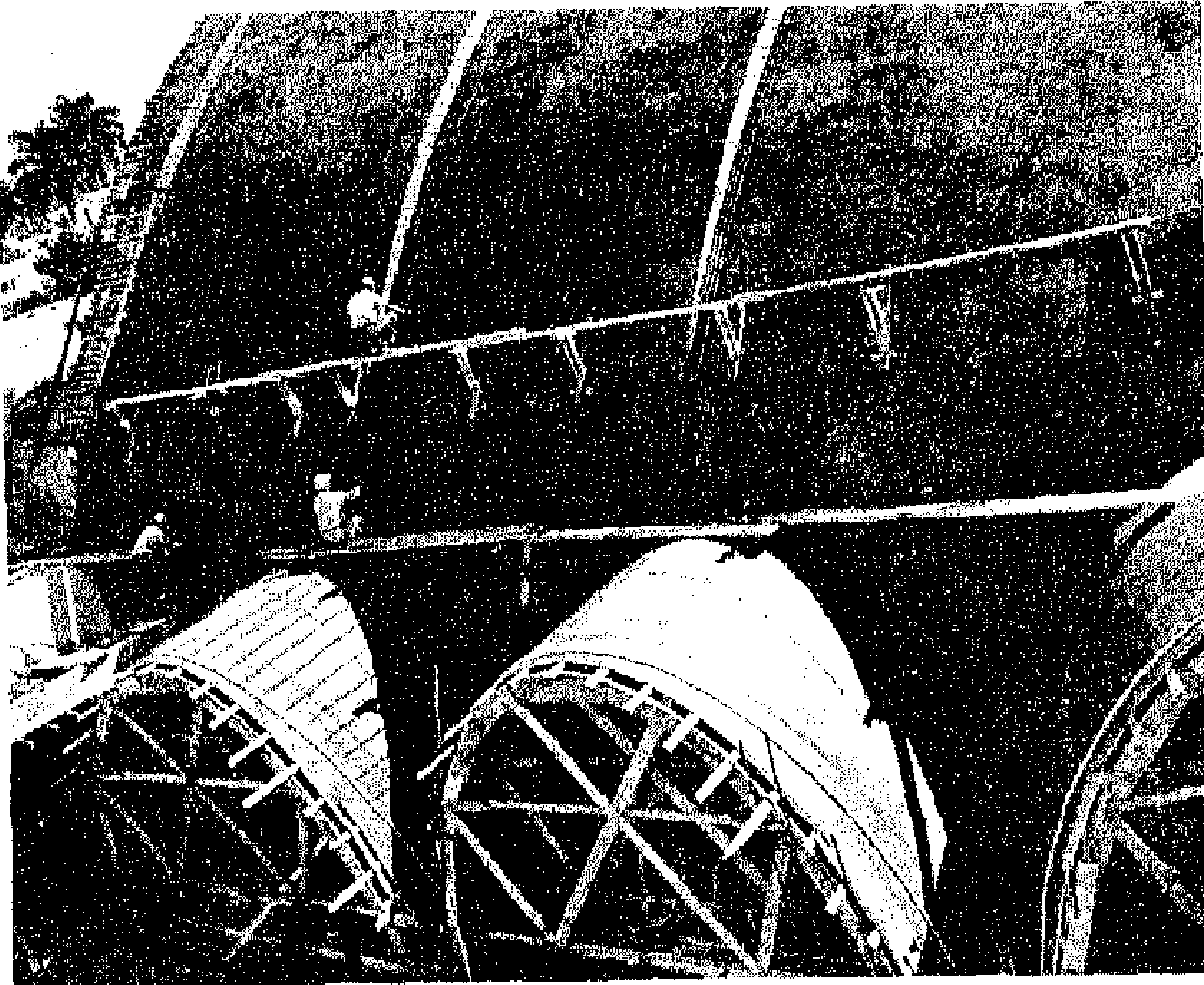


شكل ٧٢





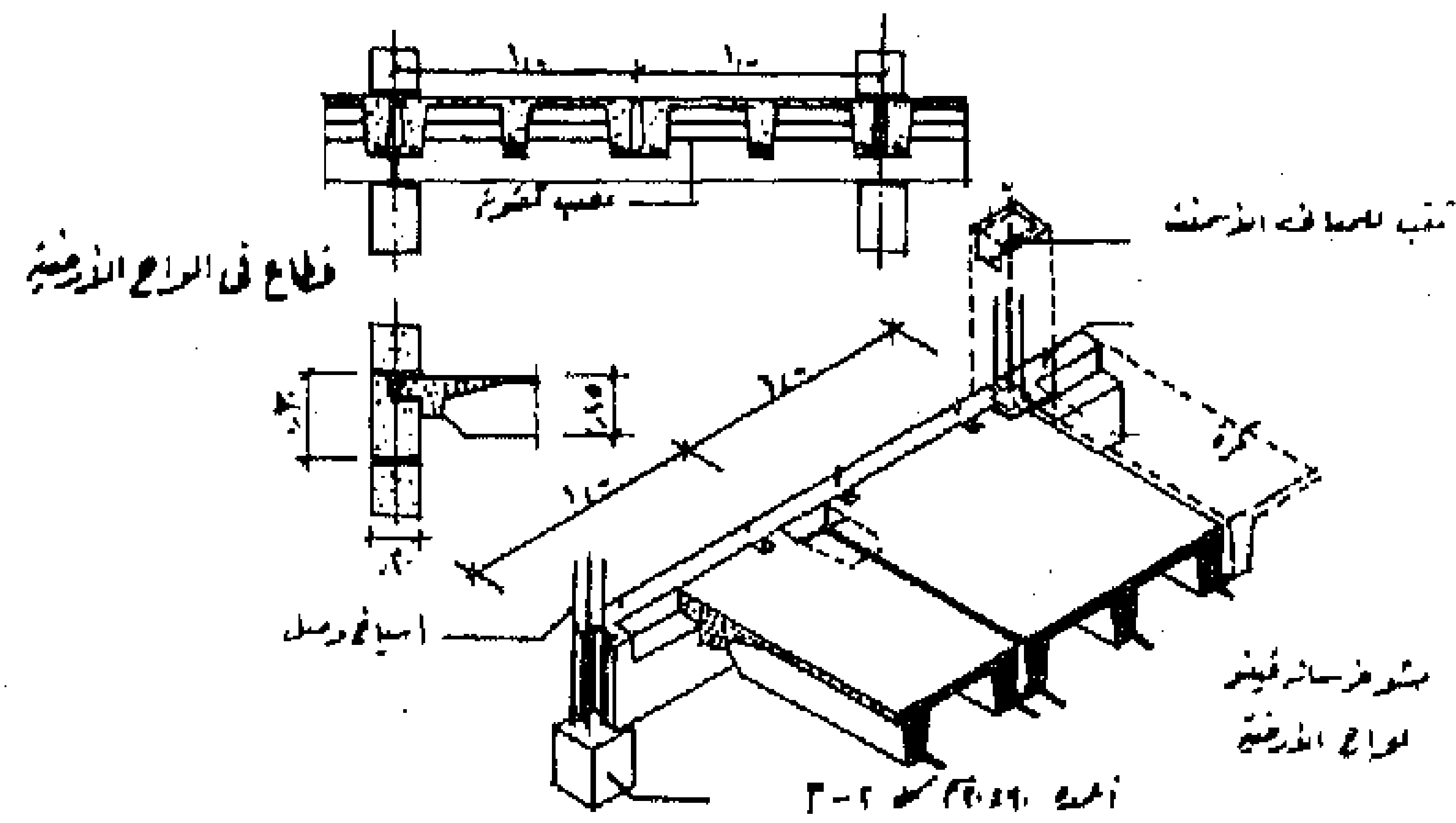
شكل ٧٣



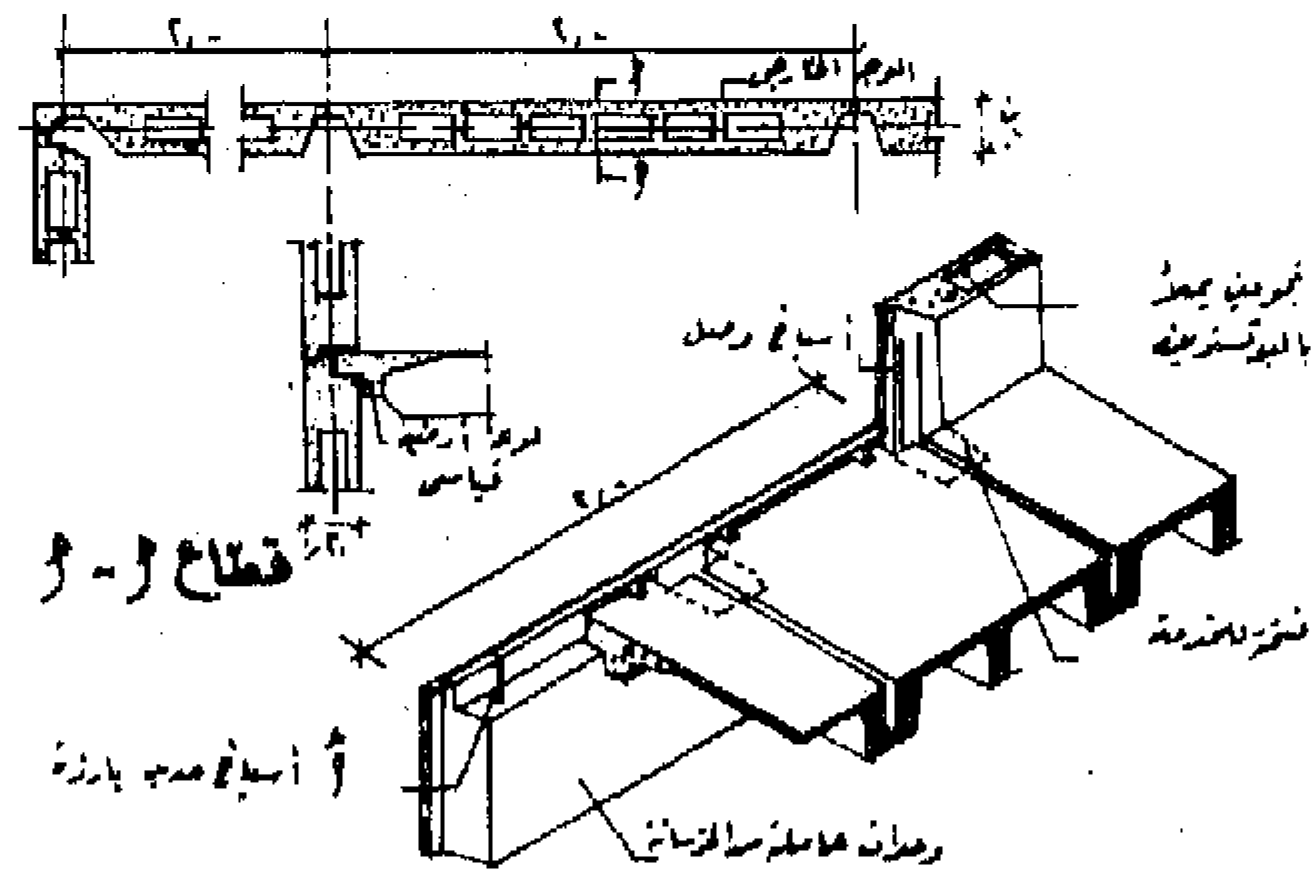
شكل ٧٤

إقامة الصلبات التقليدية المعقدة

(أشكال ٧١ – ٧٤) المراحل المتتالية فى إقامة الصلبات للصدفة القشرية على شكل نصف قبة فى معبد بيت شولوم بميامى فلوريدا – المعمارى بيرسيفال جودمان .



شكل ٧٥



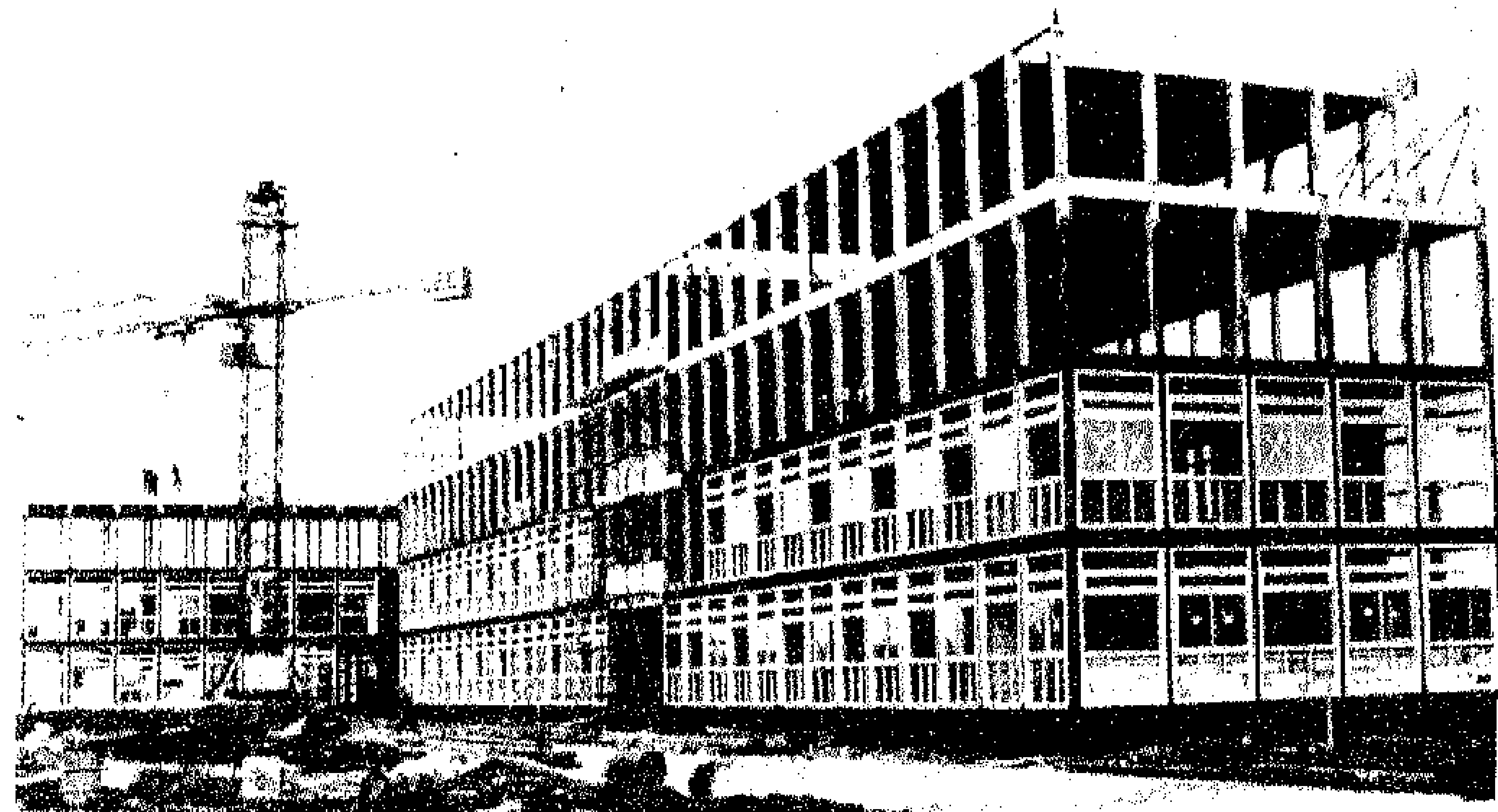
سبق التجهيز – الإنشاء الهيكلي

طريقة G-80 إنجلترا

(شكل ٧٥) – قطاعات ومساقط في الإنشاء بالأعمدة وبالحوائط الحاملة .

(شكل ٧٦) مبنى مكاتب شركة رولز رويس بدربي بعد انتهاء الإنشاء وتجميع حوائط دورين في أقل من ثلاثة أشهر .

شكل ٧٦



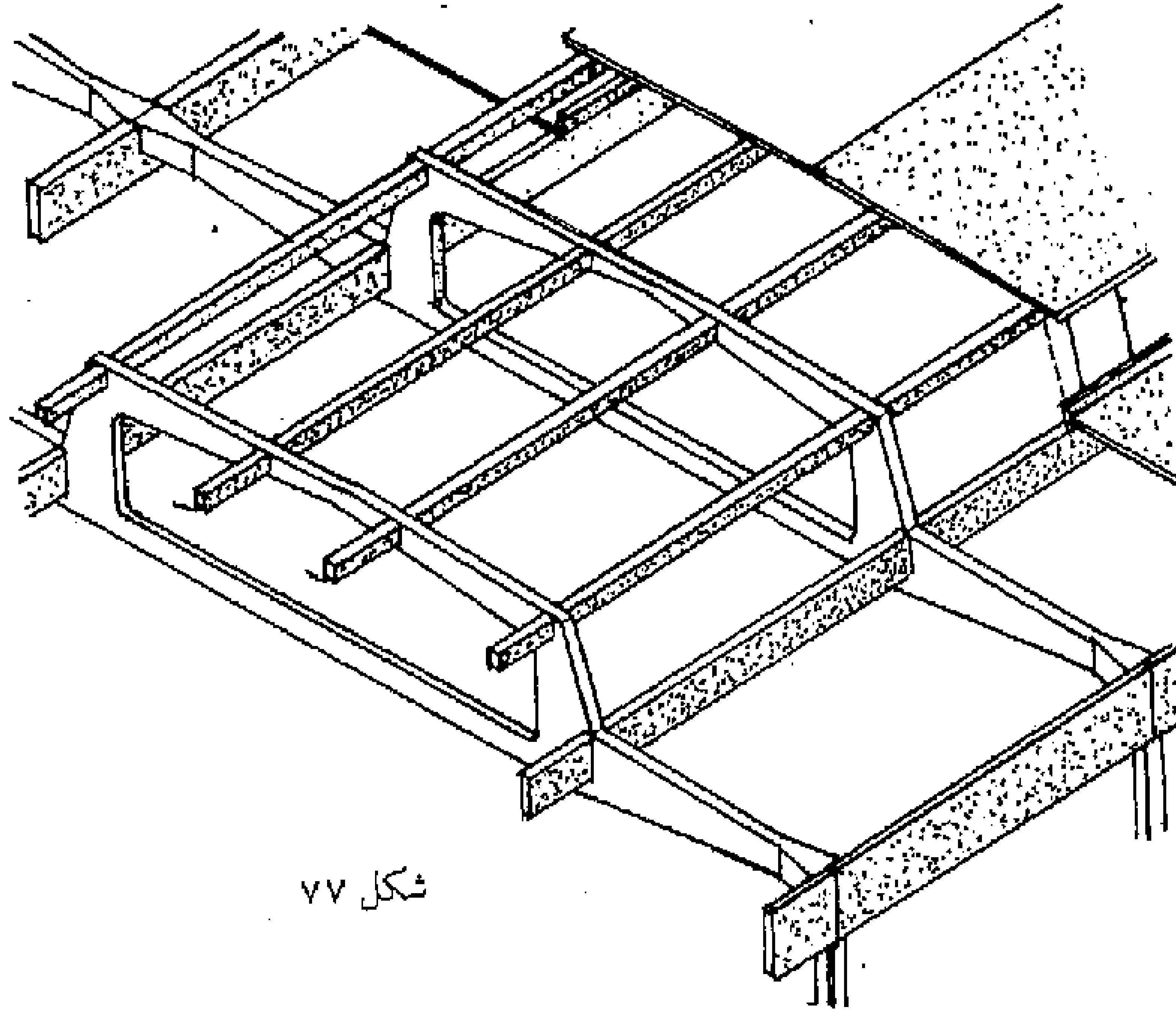
سبق التجهيز – الإنشاء الهيكلى

طريقة انتر جريد – إنجلترا

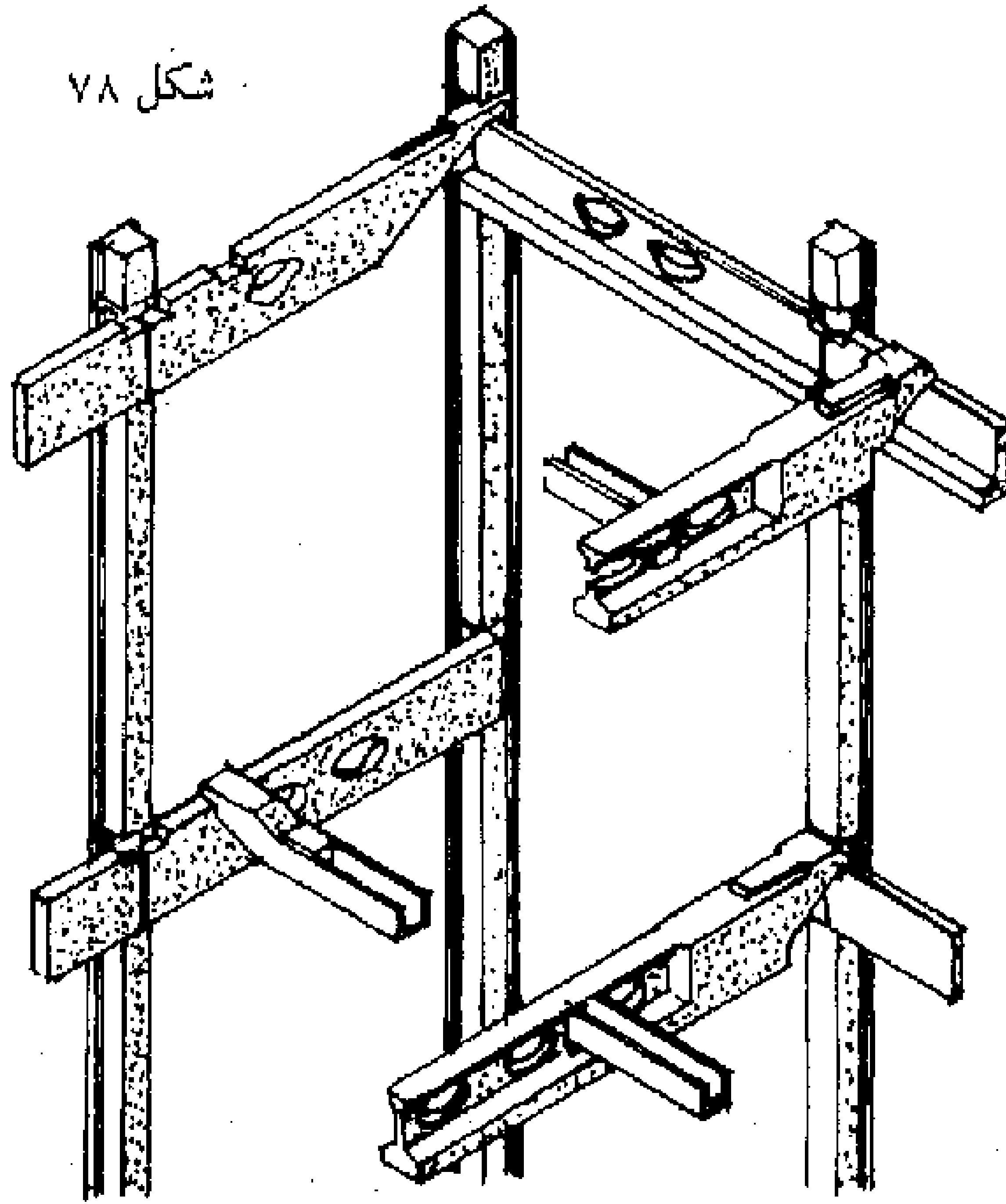
(شكل ٧٧) سقف خرسانى بإضاءة علوية يصلح لبحور حتى ٣٠ مترا بوحدات سابقة الإجهاد مجمعة على الموقع .

(شكل ٧٨) منظور لهيكل من أعمدة وكمرات رئيسية وثانوية .

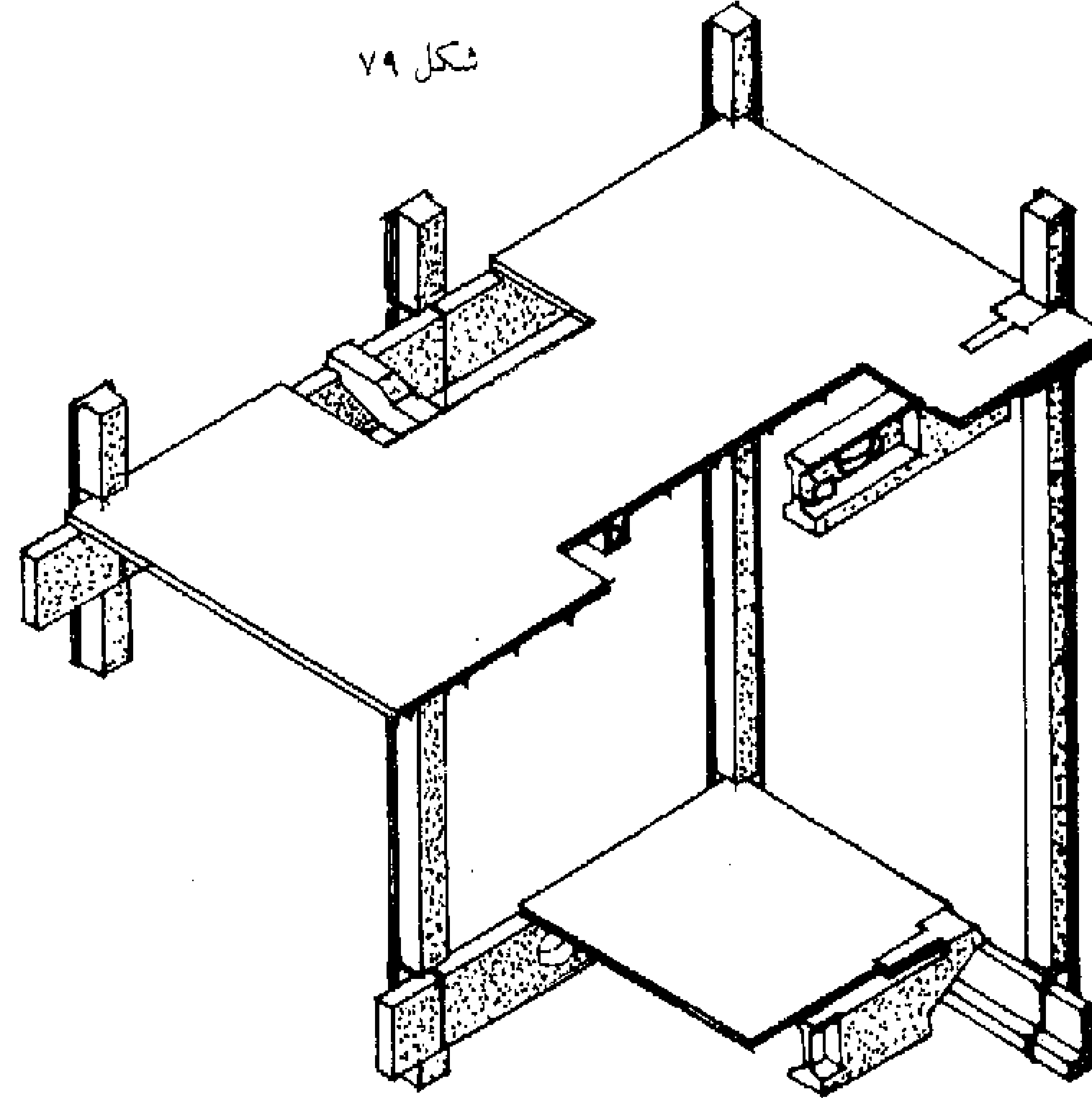
(شكل ٧٩) منظور للهيكل وفوقه البلاطة الجاهزة أو المصبوبة على الموقع .



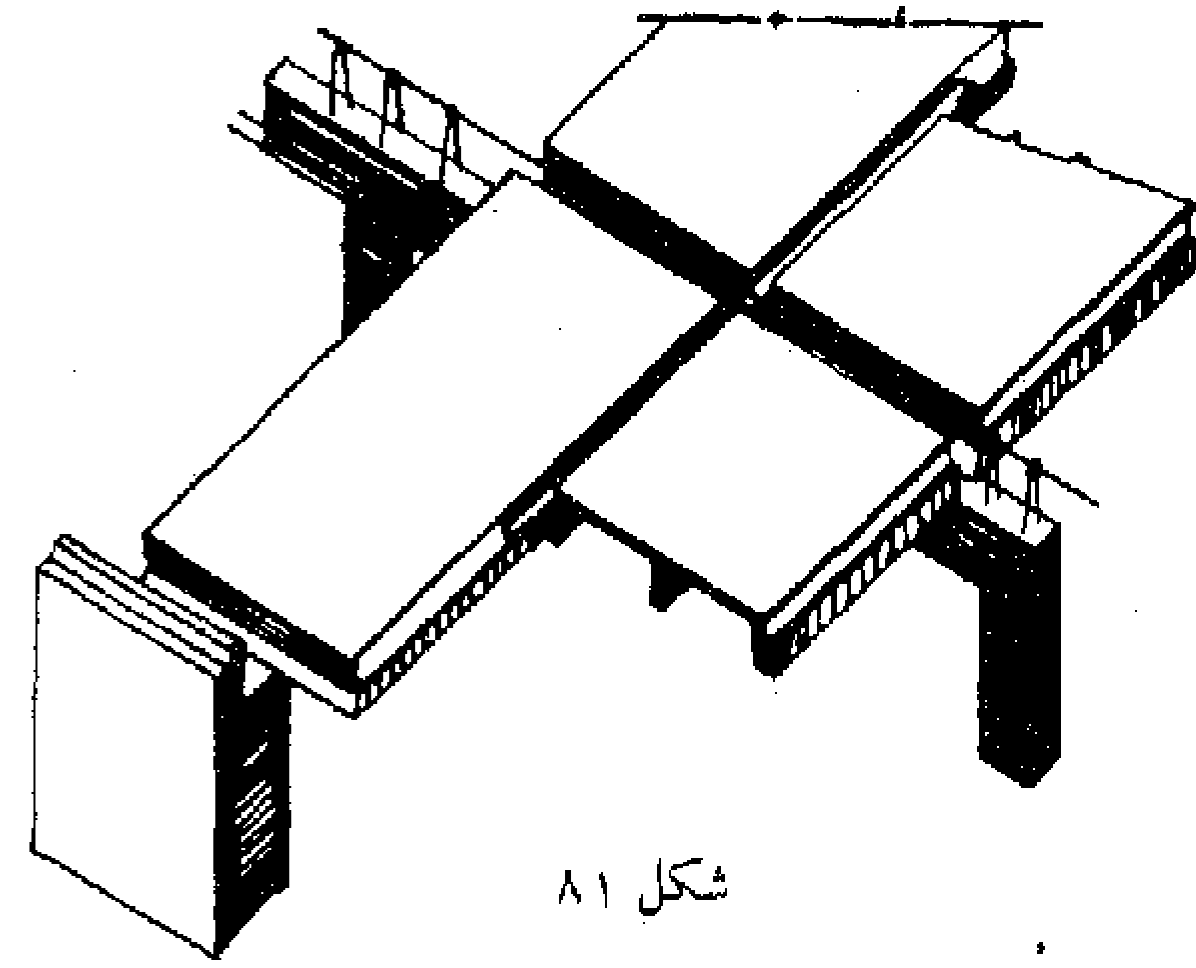
شكل ٧٧

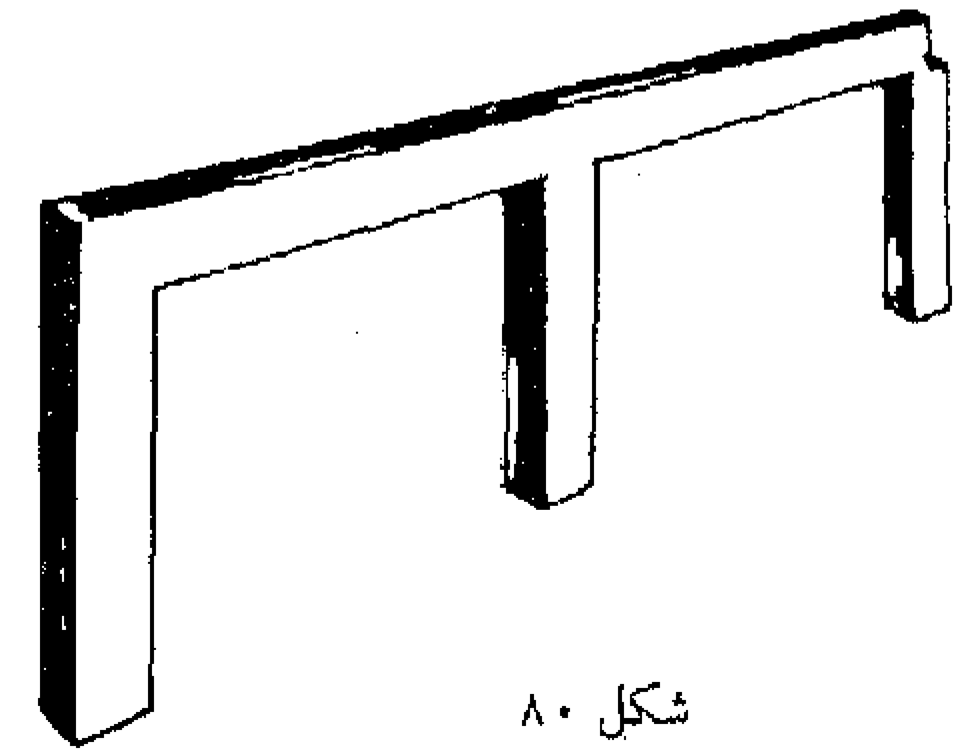


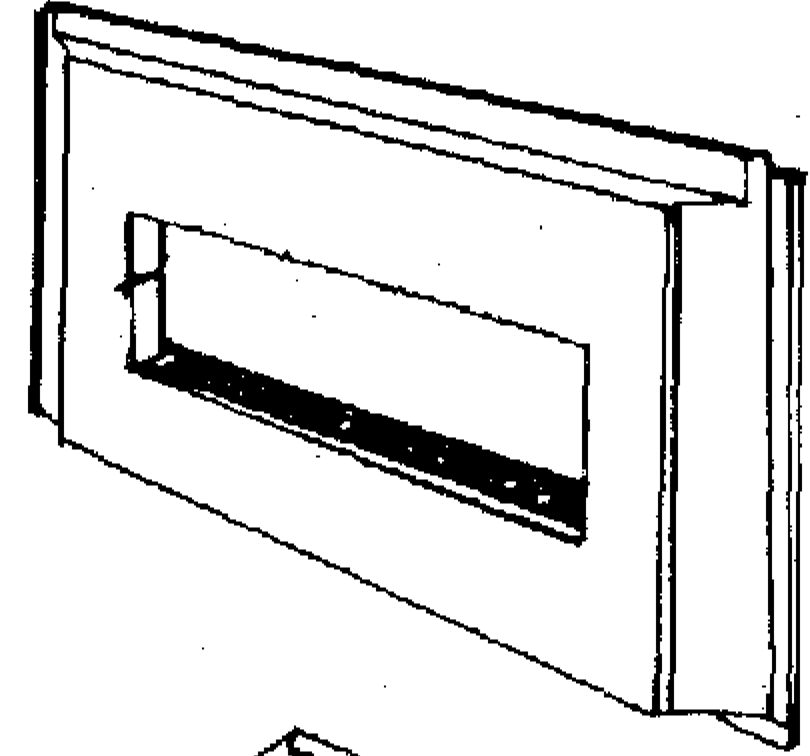
شكل ٧٨

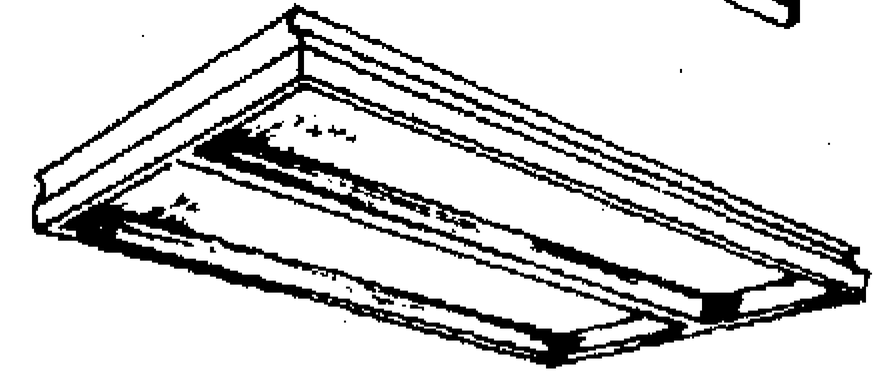


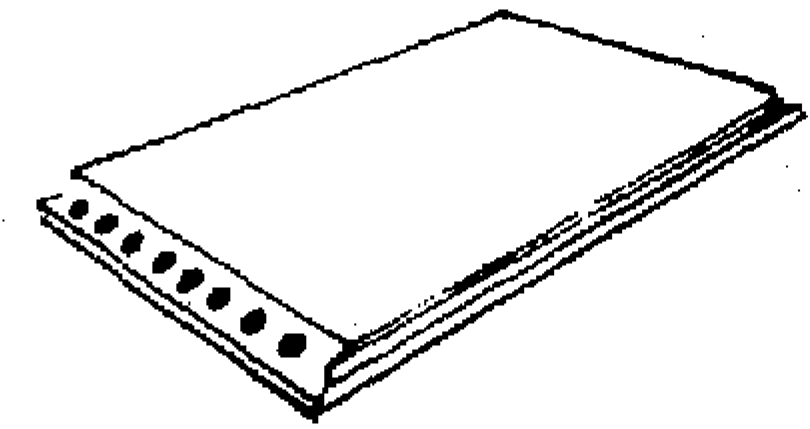
شكل ٧٩


شكل ٨١


شكل ٨٠







سبق التجهيز – الإنشاء الهيكلي

طريقة باريتس – فرنسا

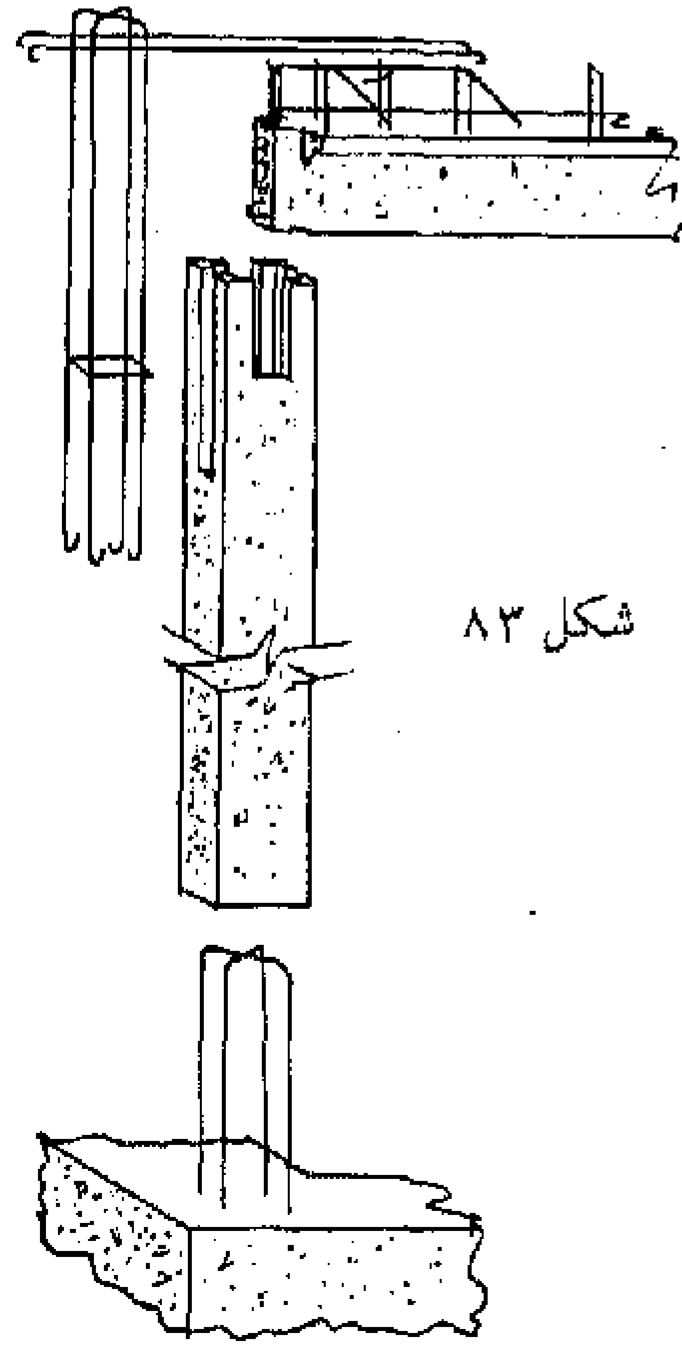
(شكل ٨٠) مجموعة وحدات من هياكل وحوائط خارجية حاملة وأسقف مضلعة .

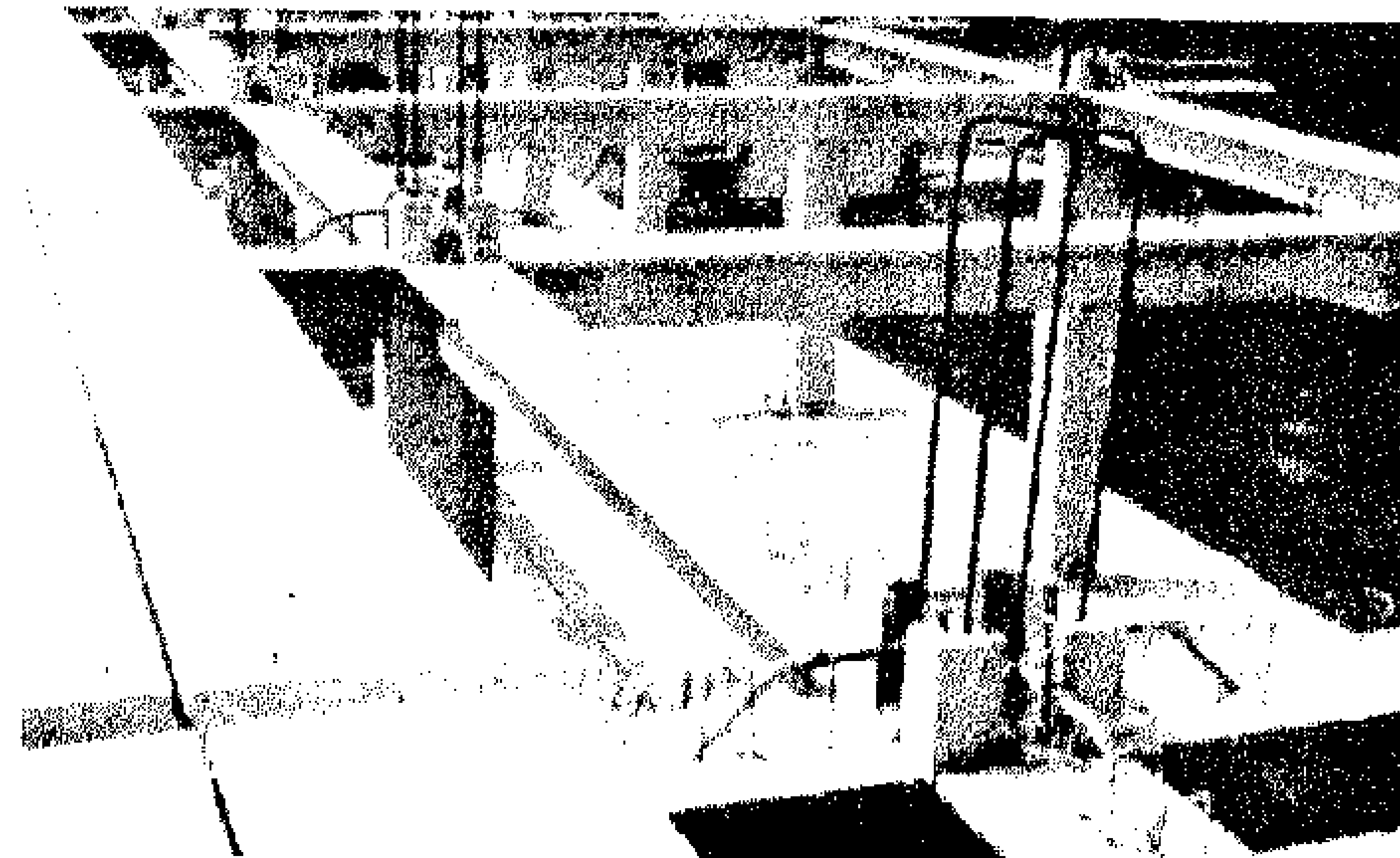
(شكل ٨١). منظور لوحدة مجمعة .

طريقة ستركتورابيد – إيطاليا

(شكل ٨٢) امتداد حديد التسليح من الأعمدة والكمرات لإيصالها بأعمدة الأدوار التالية ببانوهات السقف .

(شكل ٨٣) تفصيلة لا تصال الأعمدة بالكمرات بالأساس.


شكل ٨٣



طريقة لارسون ونلسون – الدانمارك

(شكل ٨٤) مشروع بلما نسجيد فى كوبنهاجن – الواجهات من بانوهات بركام مكشوف تحت الإنشاء.

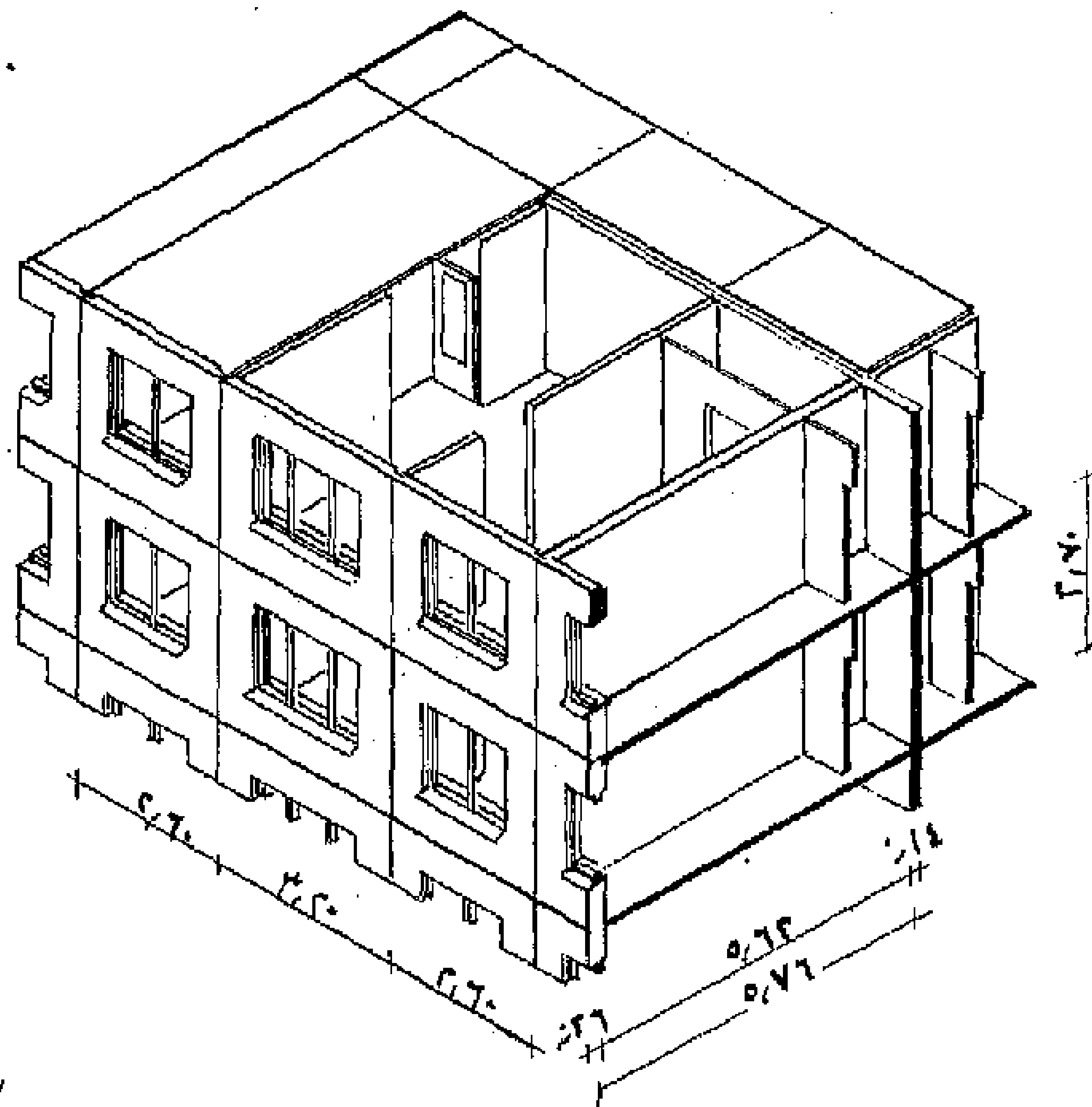
(شكل ٨٥) مسقط شقة فى وحدة من ثمان أدوار فى مشروع بلما نسجيد بكوبنهاجن.

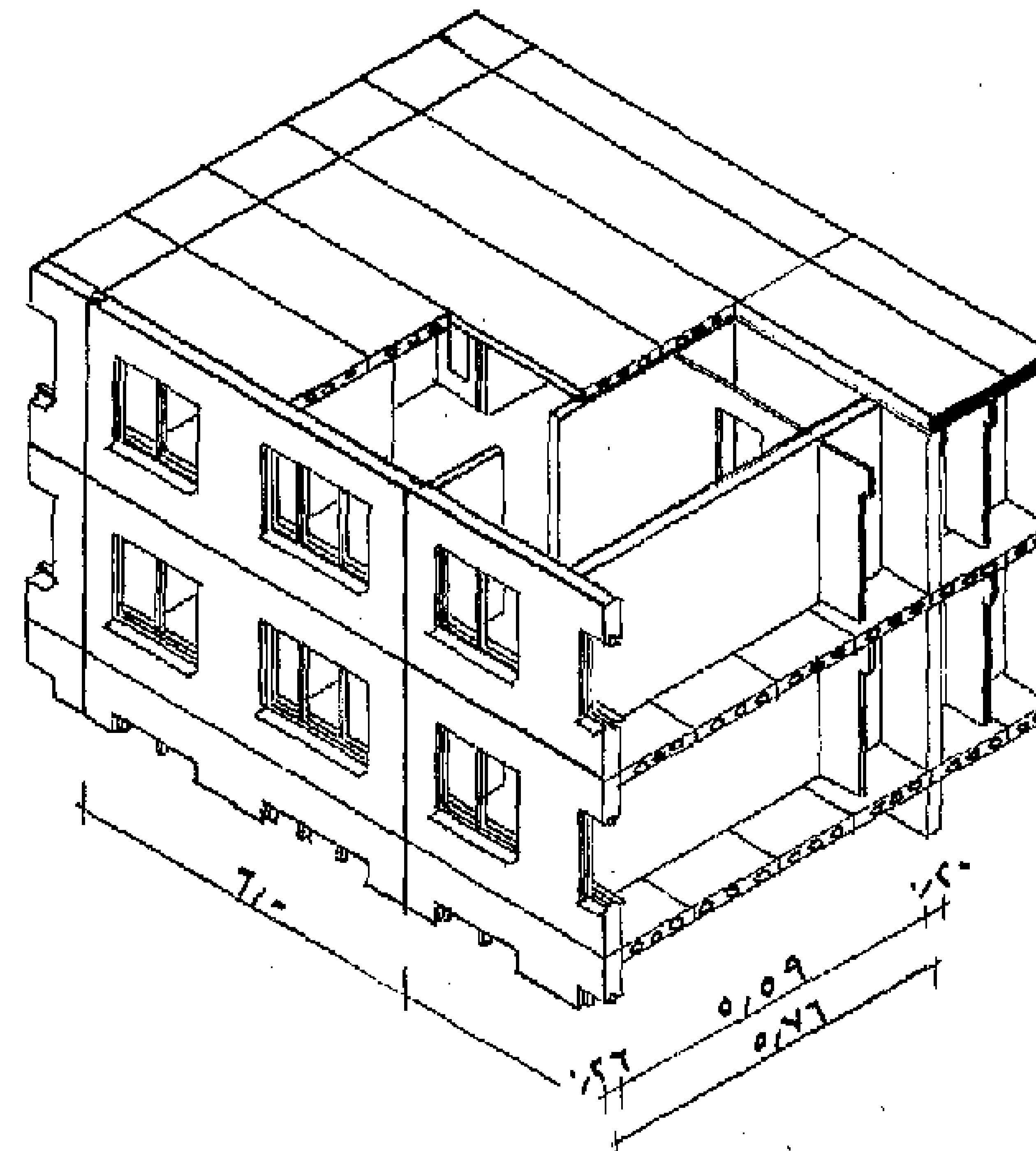
(شكل ٨٦) نموذج للإنشاء بحوائط عرضية حاملة على مسافة حوالى ٣,٠ م ، ٦,٠ بالاتحاد السوفيتى.

شكل ٨٤

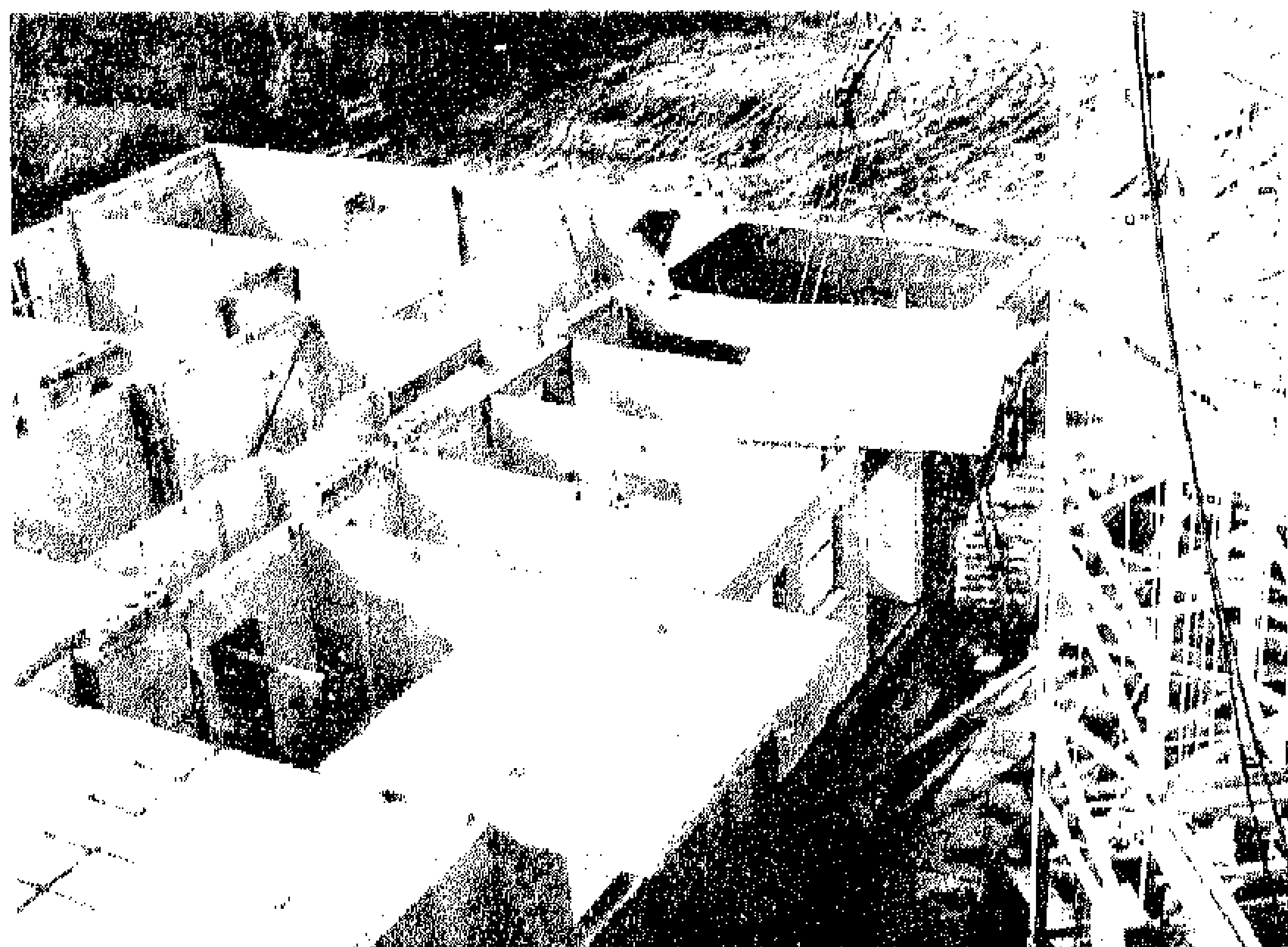
شكل ٨٥

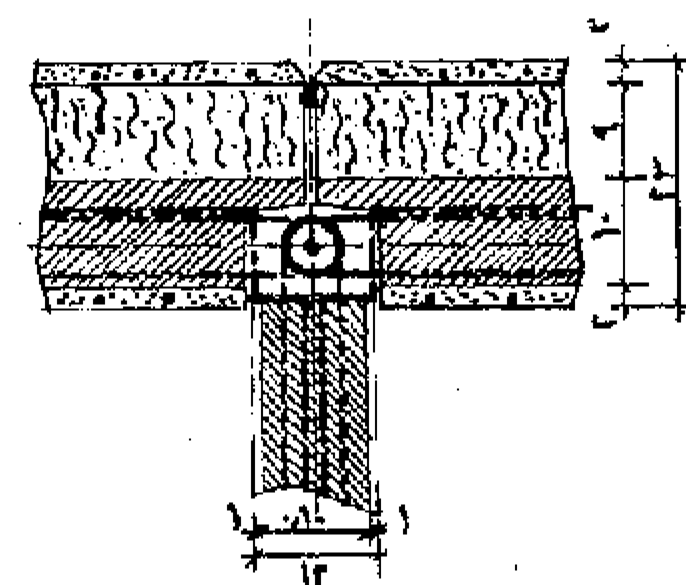
شكل ٨٦



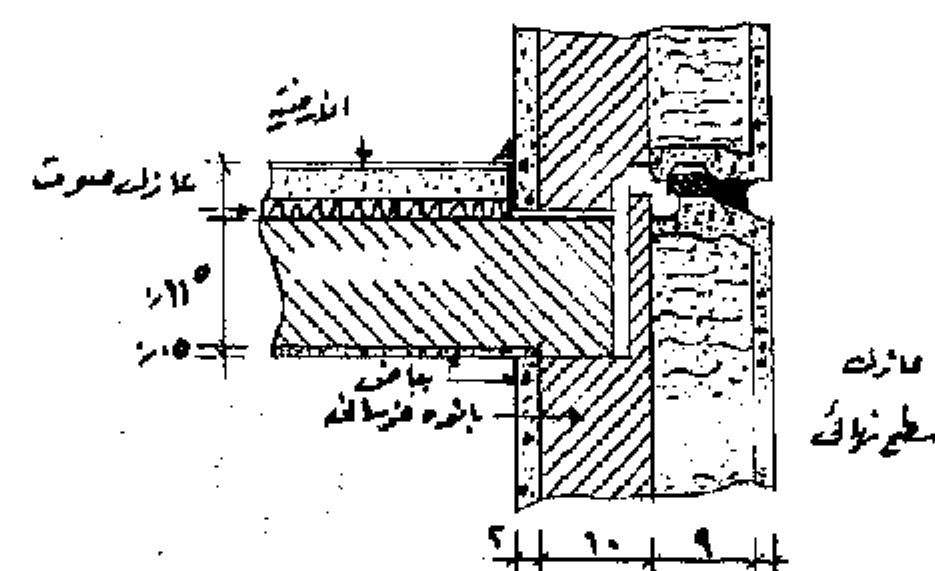


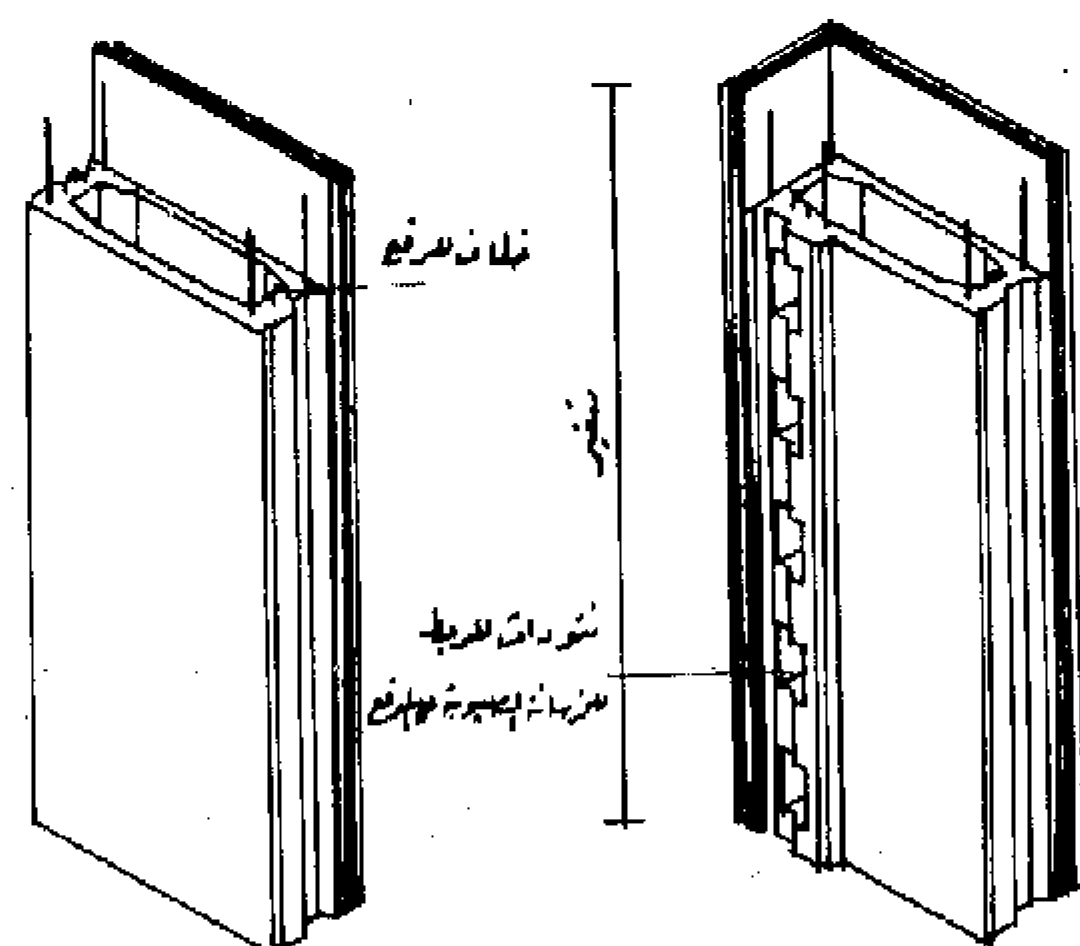
شكل ٨٧



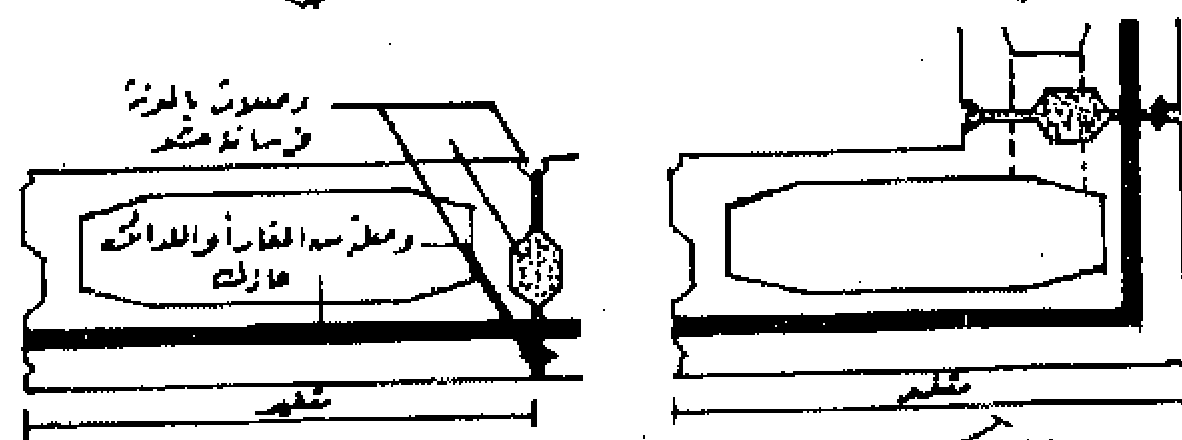


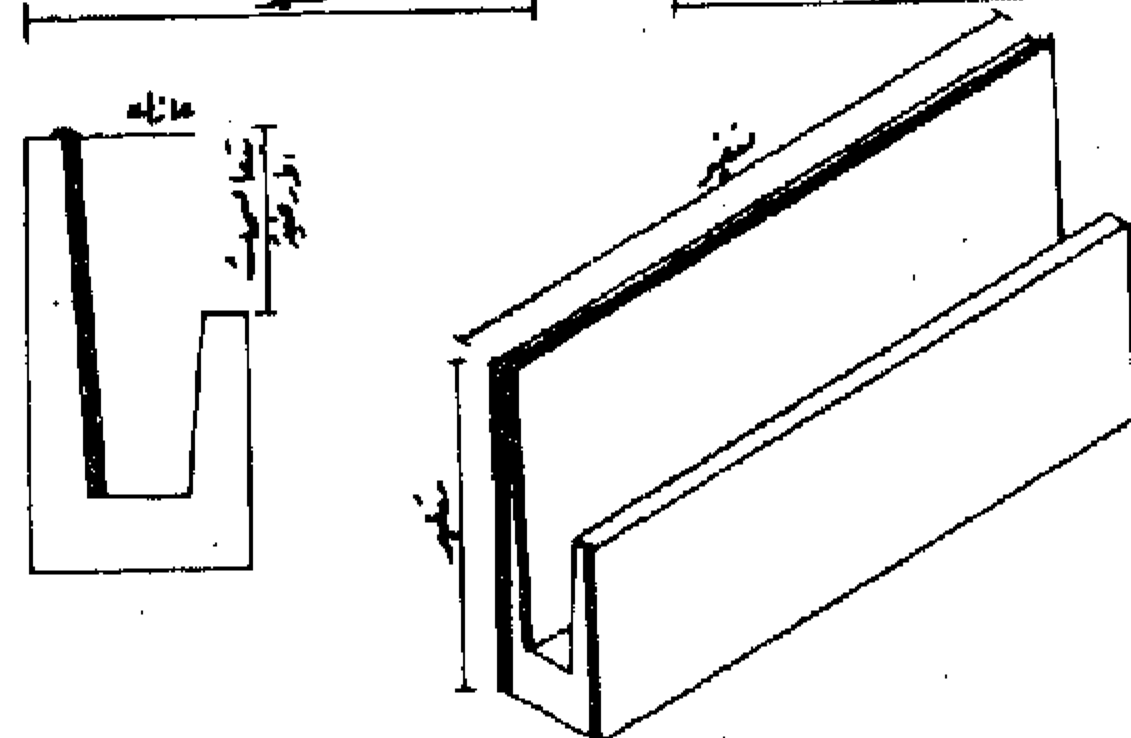
شكل ٨٨





شكل ٨٩





سبق التجهيز — الإنشاء بالحوائط الحاملة

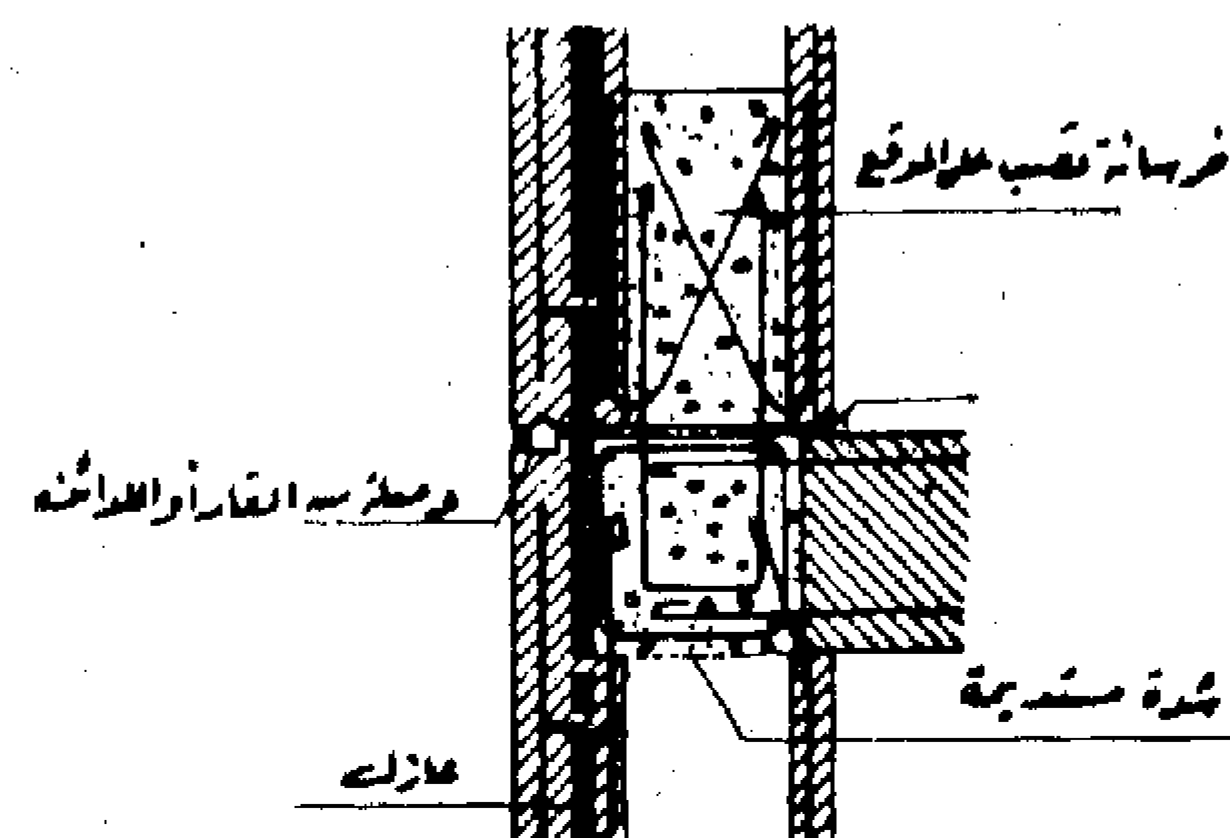
طريقة ميشيك — النمسا

(شكل ٨٧) إسقاط بانوهات السقف الجاهزة فى أماكنها

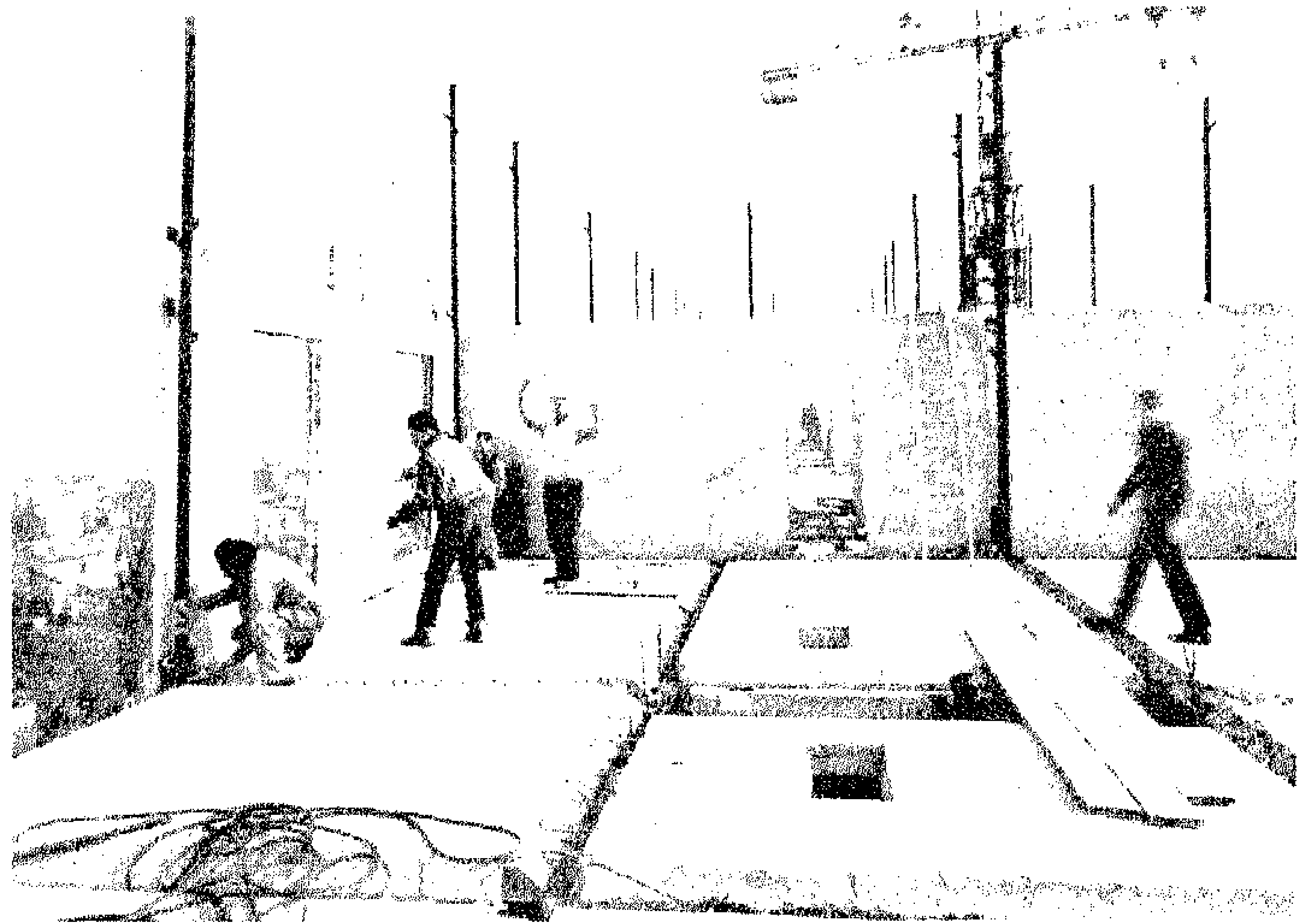
(شكل ٨٨) مسقط وقطاع فى حائط خارجي — وصلة بالحائط الداخلي وبالسقف .

(شكل ٨٩) طريقة كوڤيه فرنسا — مشروع عمارات سكنية تحت الإنشاء وتفاصيل وحدات الحائط والأعتاب .

شكل ٨٩



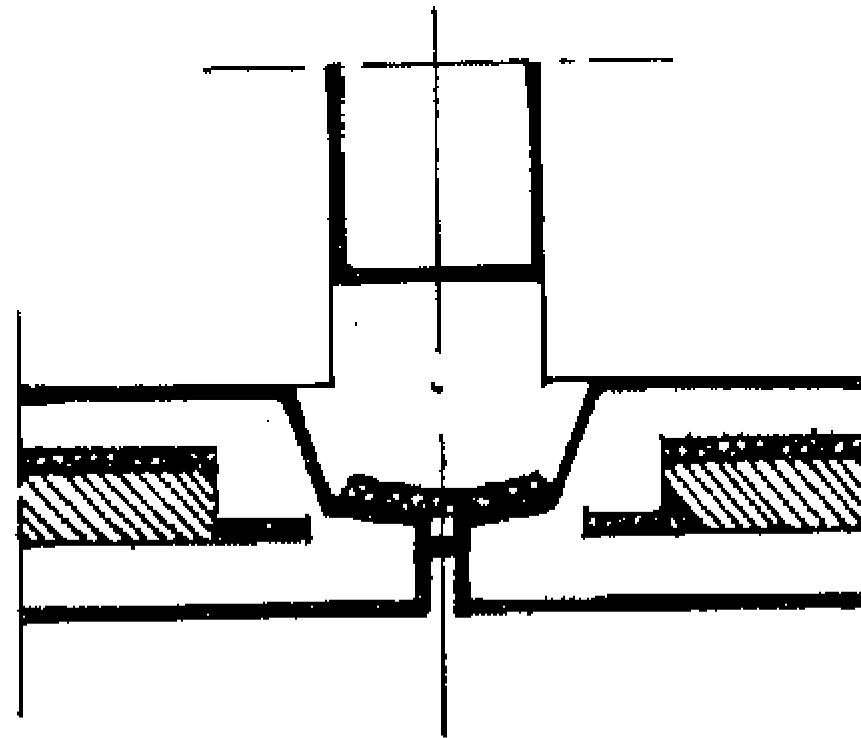
شكل ٩٠



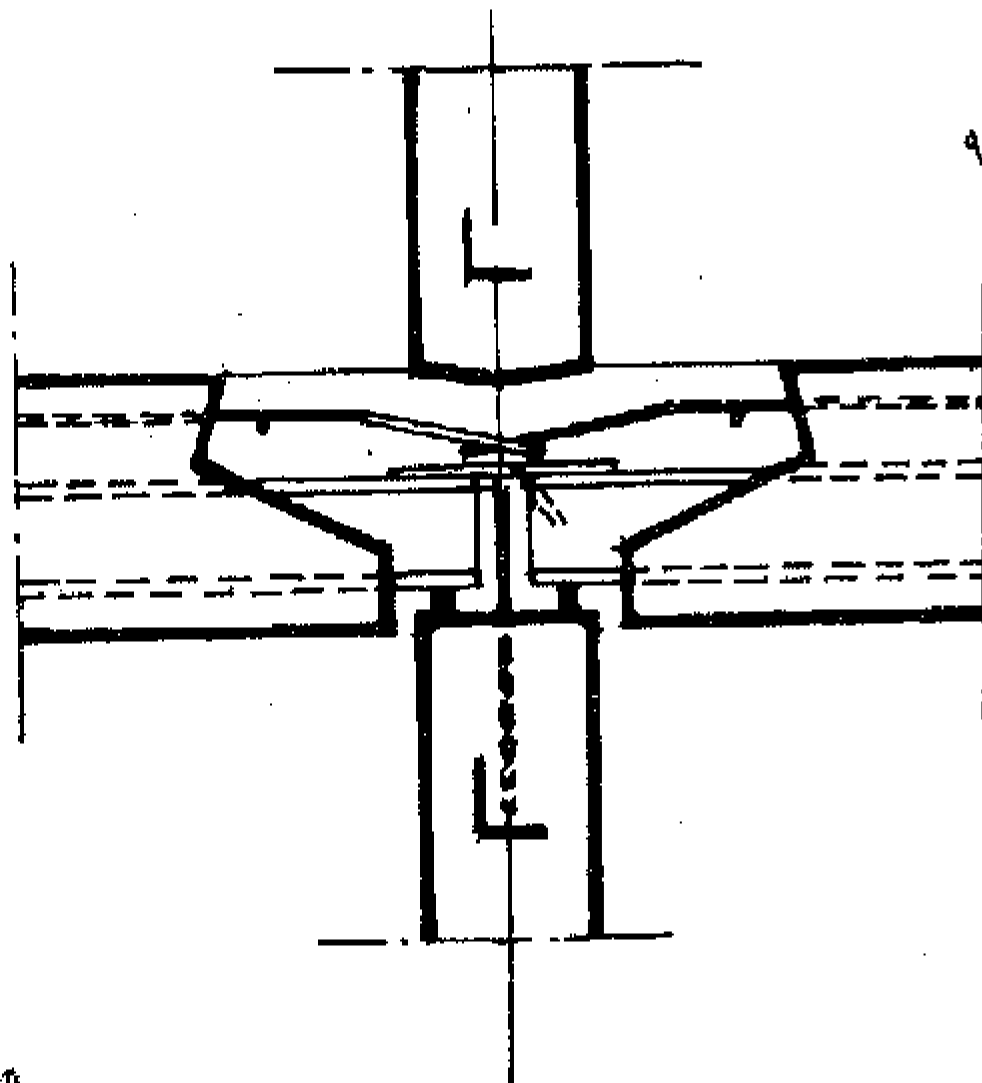
سبق التجهيز – الإنشاء بالحوائط الحاملة

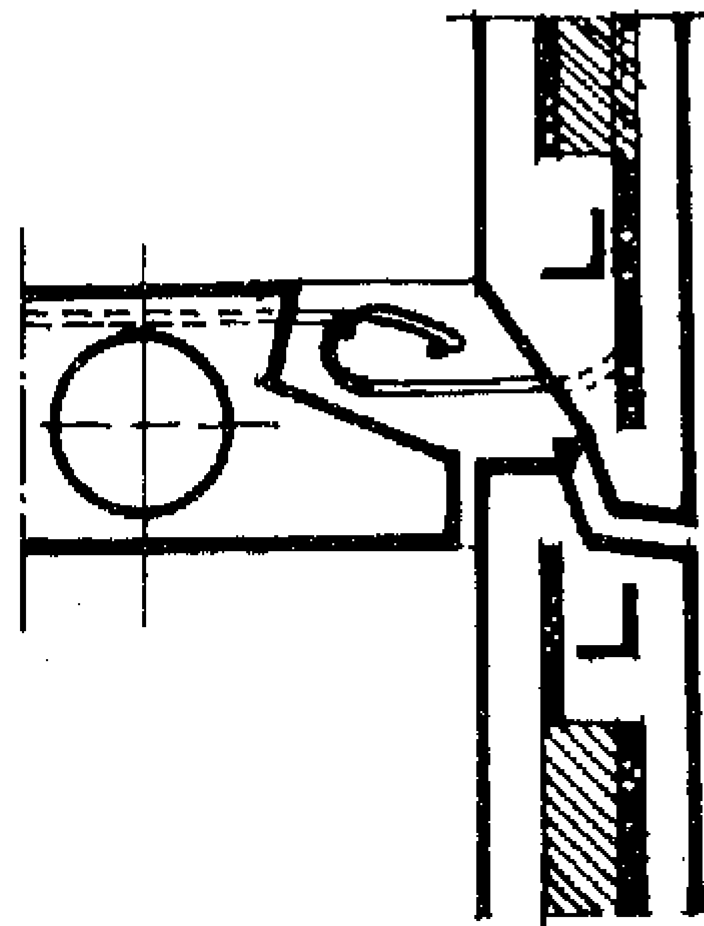
طريقة استيوت – فرنسا

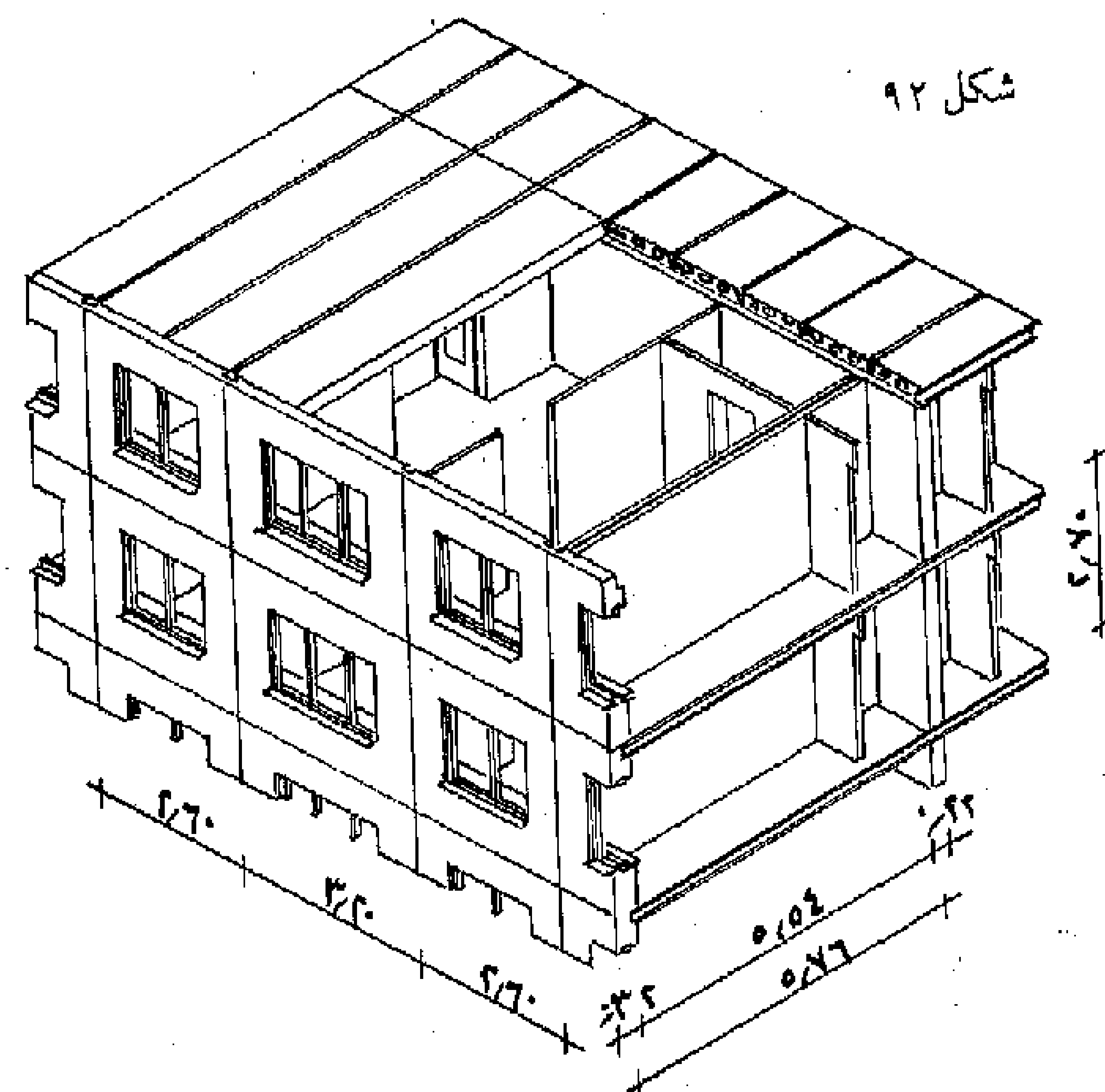
(شكل ٩٠) مجموعة مساكن تحت الإنشاء فى أڤينيون.
(شكل ٩١) قطاعات أفقية فى وصلة حائط خارجى بحائط داخلى، وقطاعات رأسية فى وصلة حائط خارجى وحائط داخلى ببانوهات الأسقف .

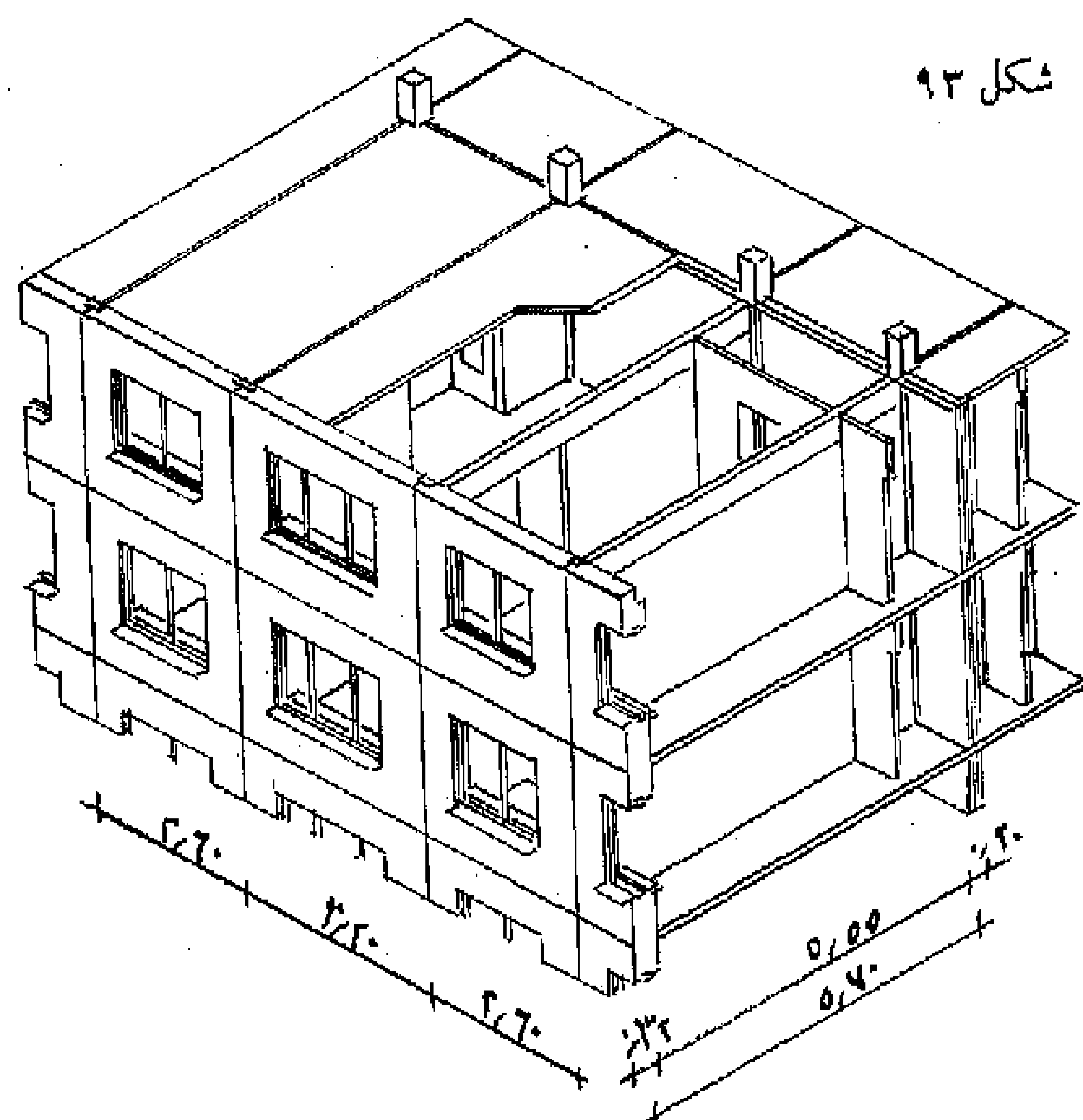


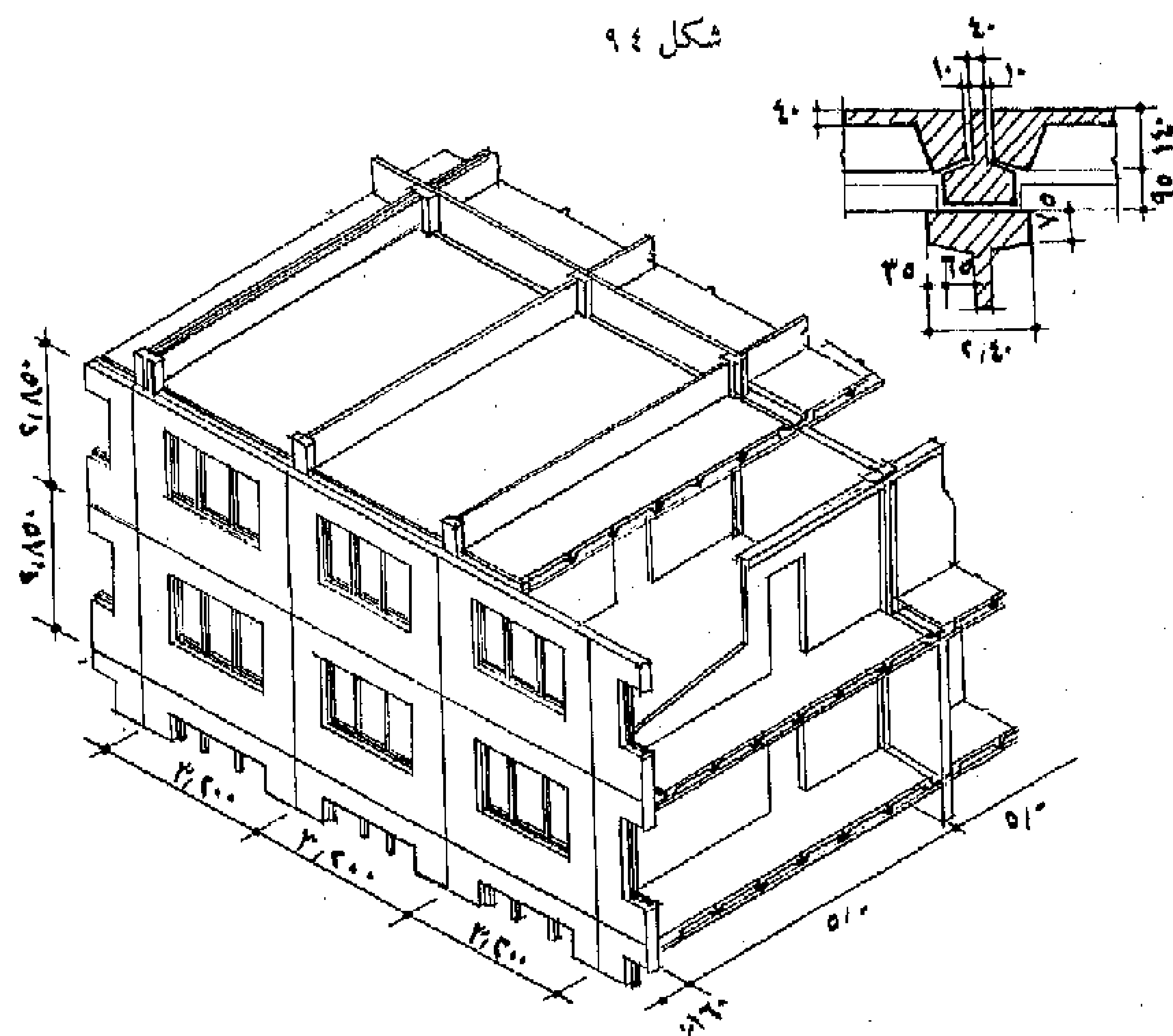
شكل ٩١











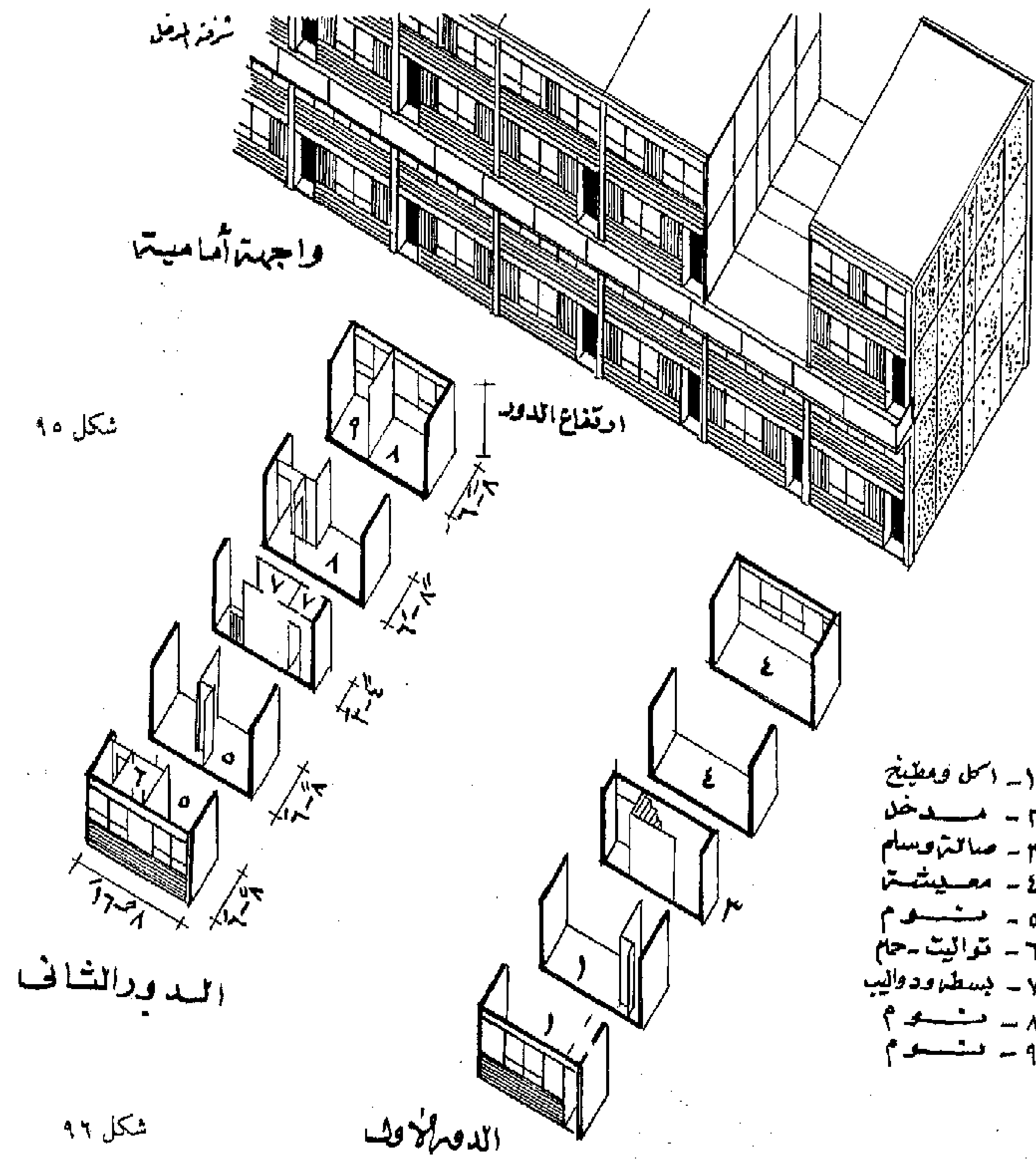
سبق التجهيز – الإنشاء بالحوائط الحاملة

الاتحاد السوفيتي

(شكل ٩٢) نموذج لسبق التجهيز بالحوائط الطولية الحاملة .

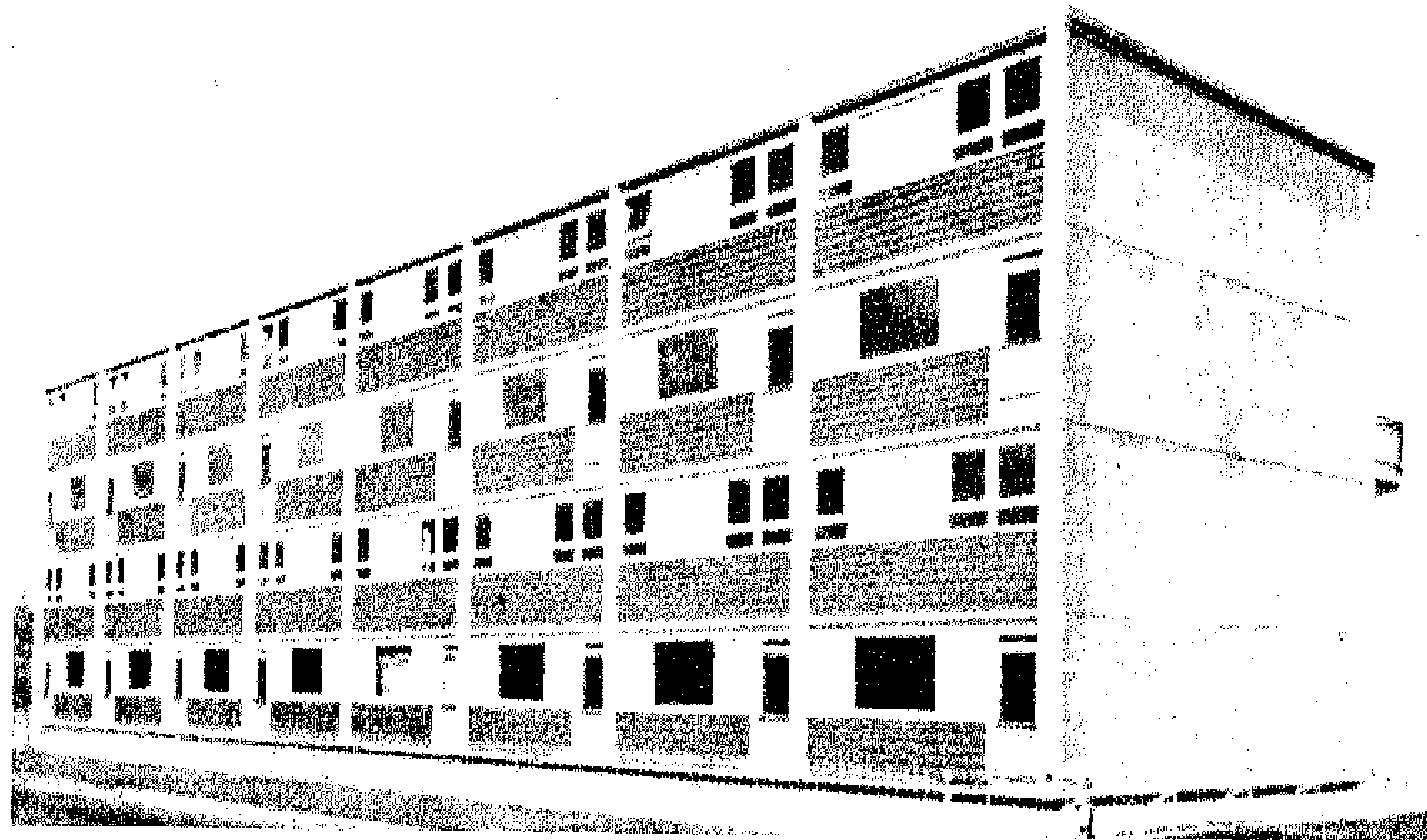
(شكل ٩٣) نموذج لسبق التجهيز بحوائط خارجية حاملة وأعمدة وكمرات داخلية .

(شكل ٩٤) نموذج لسبق التجهيز ببانوهات كبيرة ذات كادرات حاملة .



شكل ٩٥

شكل ٩٦



سبق التجهيز الصندوقى

طريقة تراسكون — إنجلترا

(شكل ٩٥) منظور لعشر وحدات جاهزة لعمارة سكنية من أربعة أدوار .

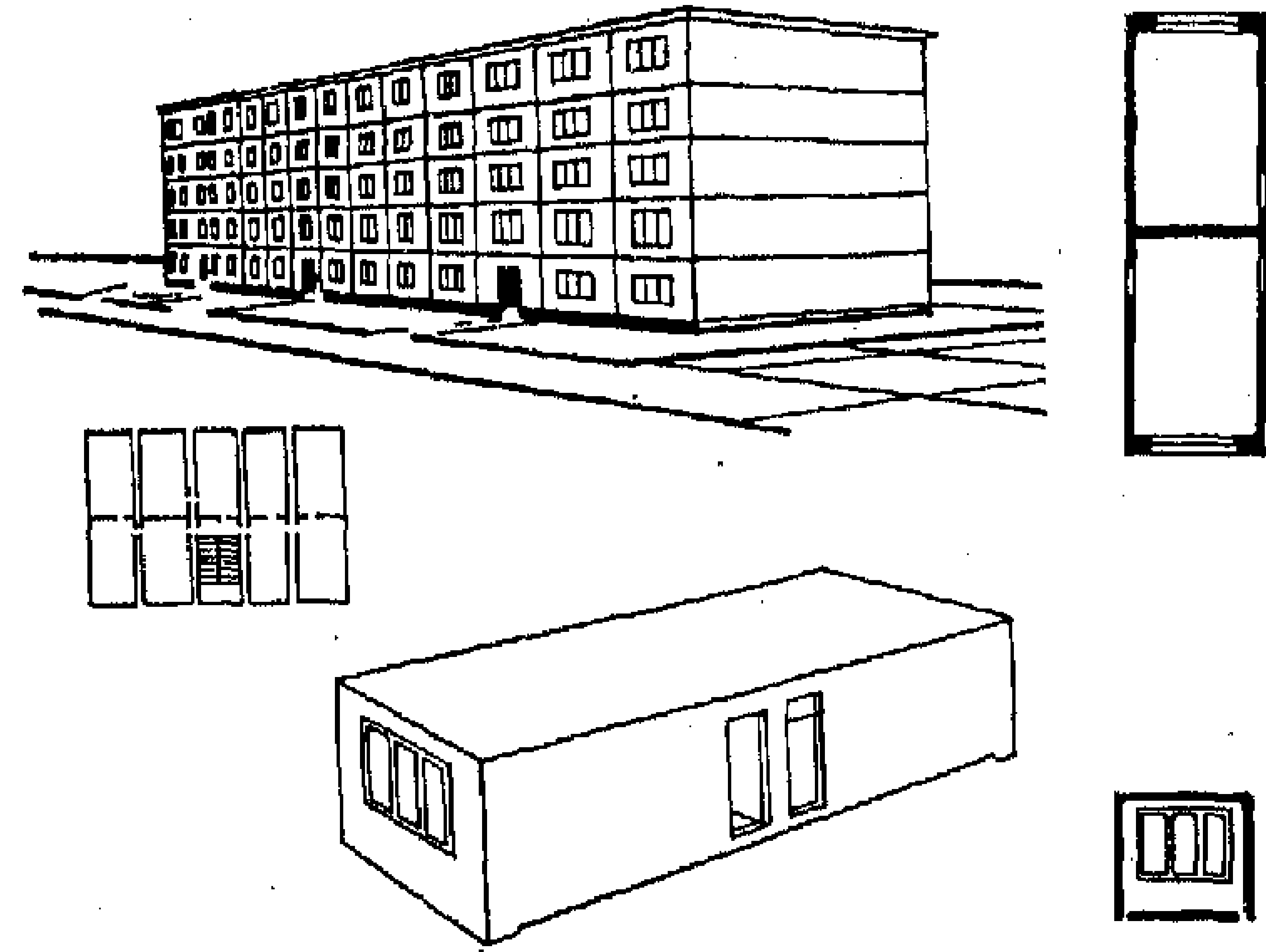
(شكل ٩٦) منظور للعمارة بعد إنهائها .

شكل ٩٧

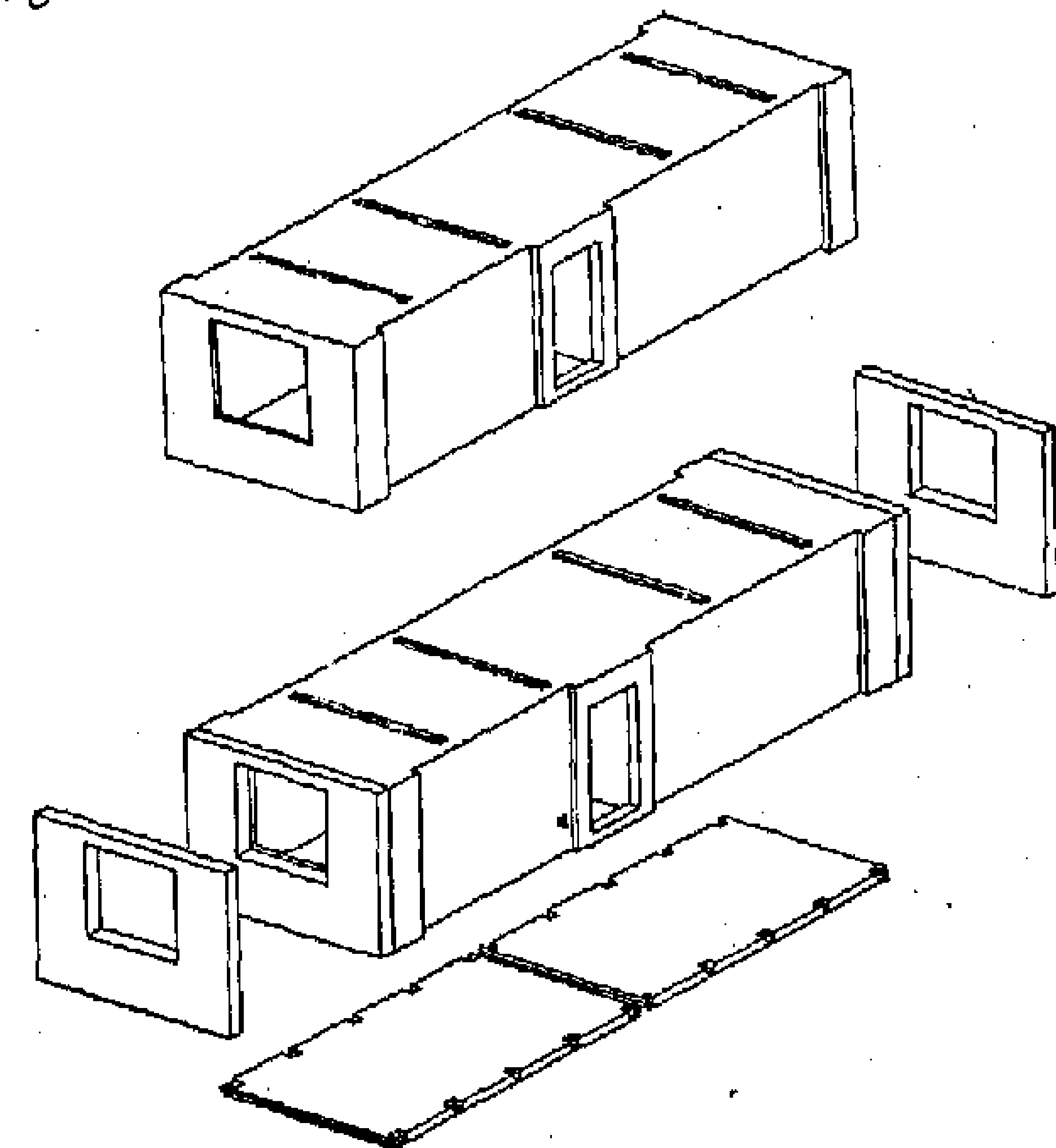
سبق التجهيز الصندقى الاتحاد السوفيتى

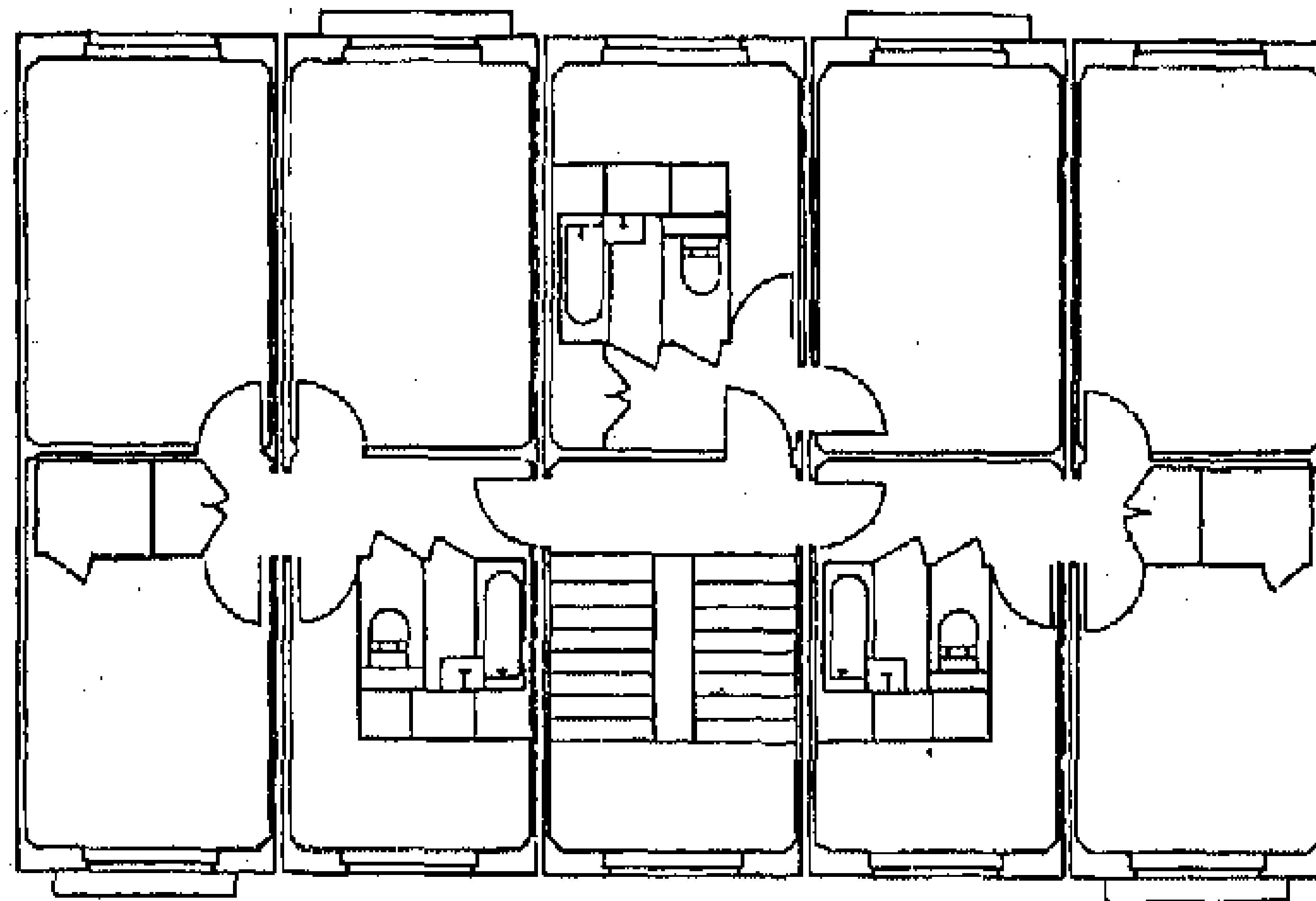
(شكل ٩٧) منظور يبين توزيع الوحدة الصندوقية بالنسبة للمجموعة السكنية .

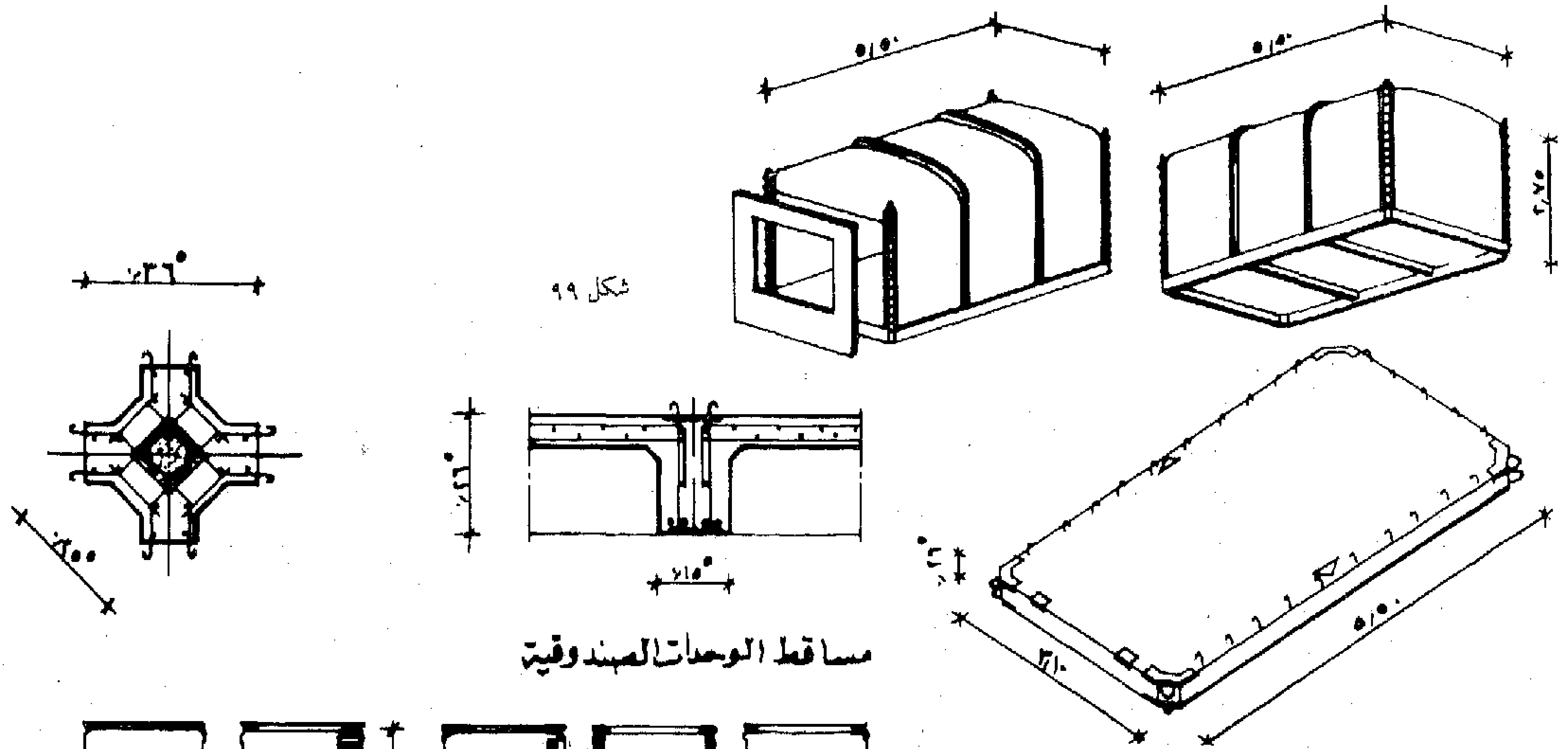
(شكل ٩٨) مسقط أفقى لتوزيع الوحدات ومنظور لتفصيلاتها .



شكل ٩٨

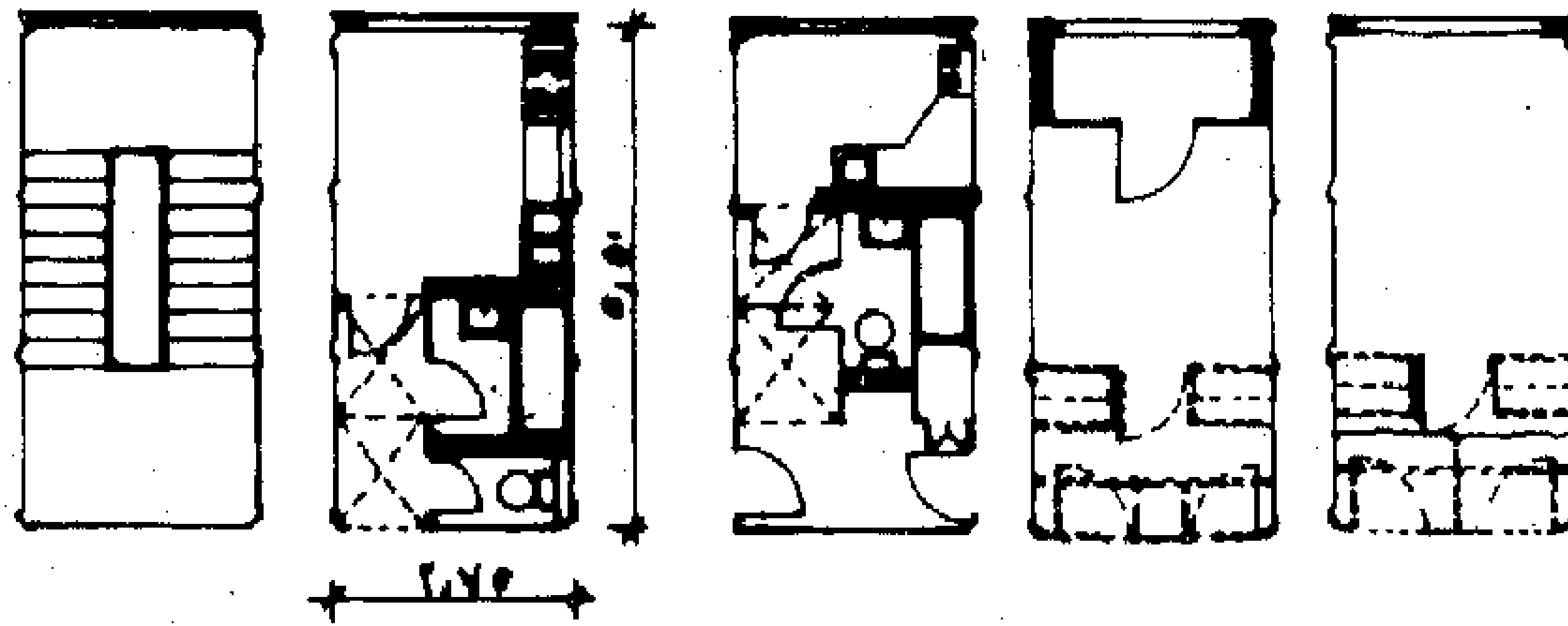


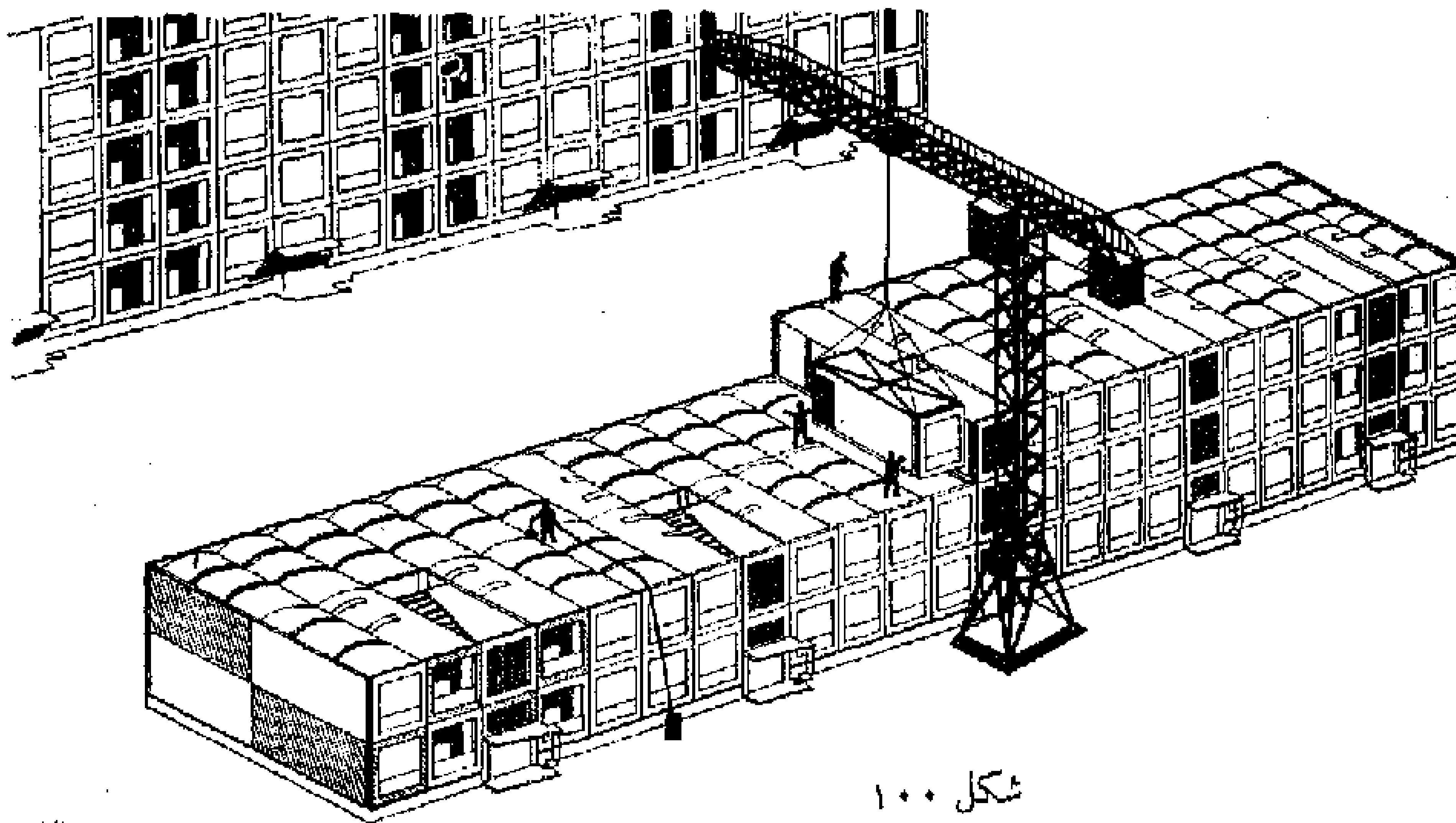




شكل ٩٩

مساقط الوحدات الصندوقية



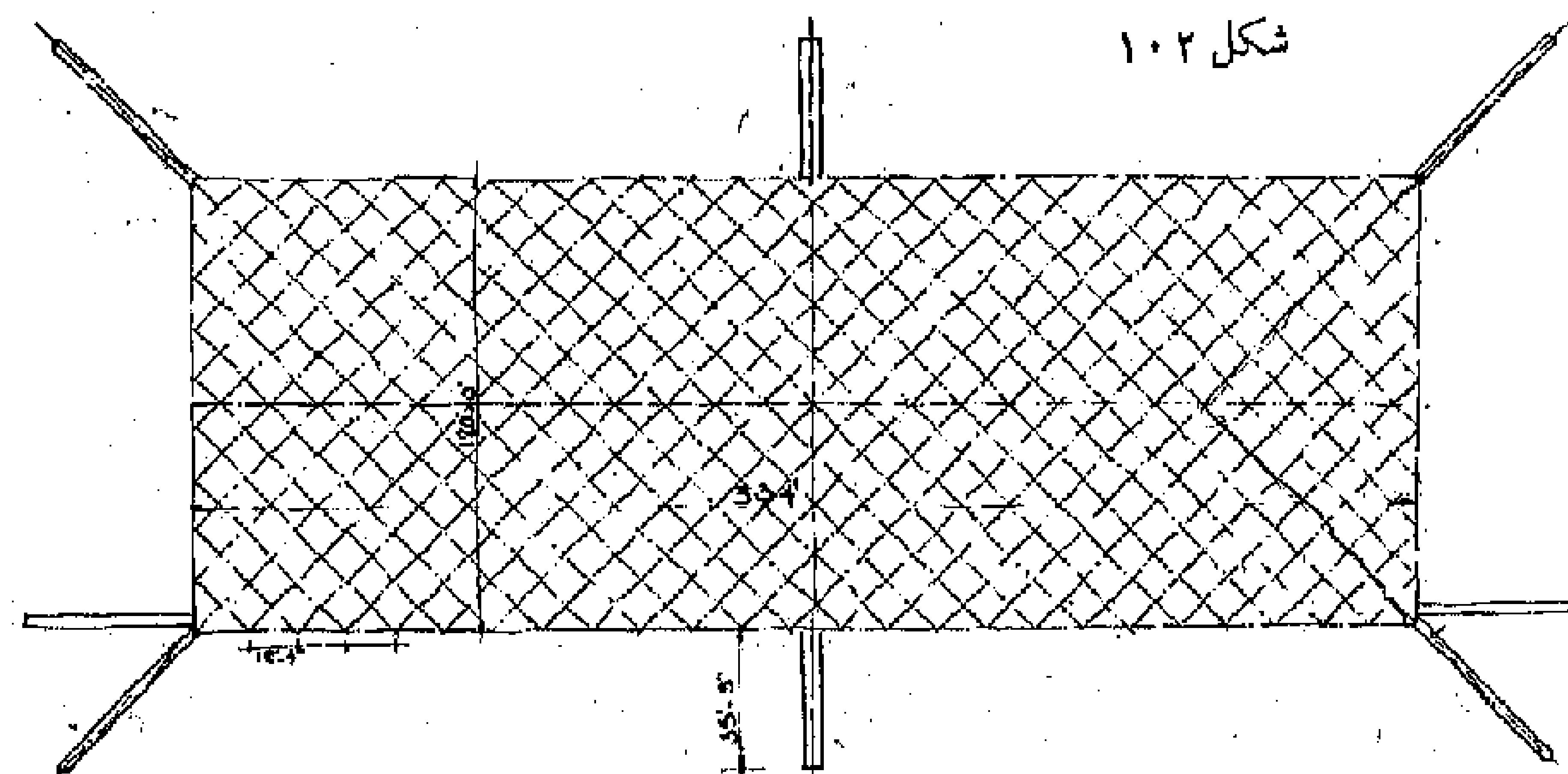


شكل ١٠٠

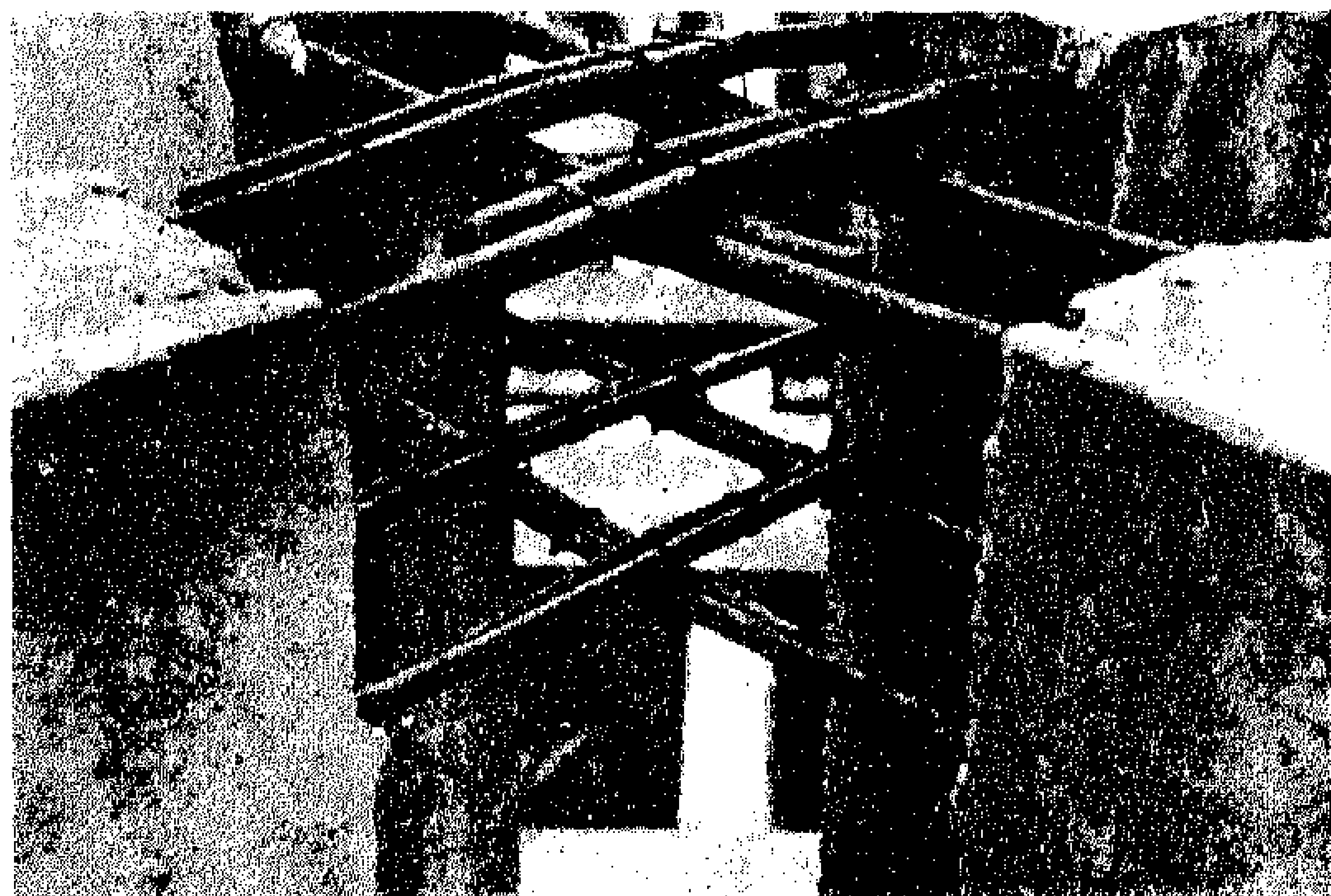
سبق التجهيز الصندوق

(شكل ٩٩) تفصيلات الوحدة وأركانها والاتصال بين الأربعة أعمدة الركنية واتصال بلاطات الأرضية .
(شكل ١٠٠) منظور يبين طريقة رفع الوحدات الصندوقية .

شکل ۱۰۱



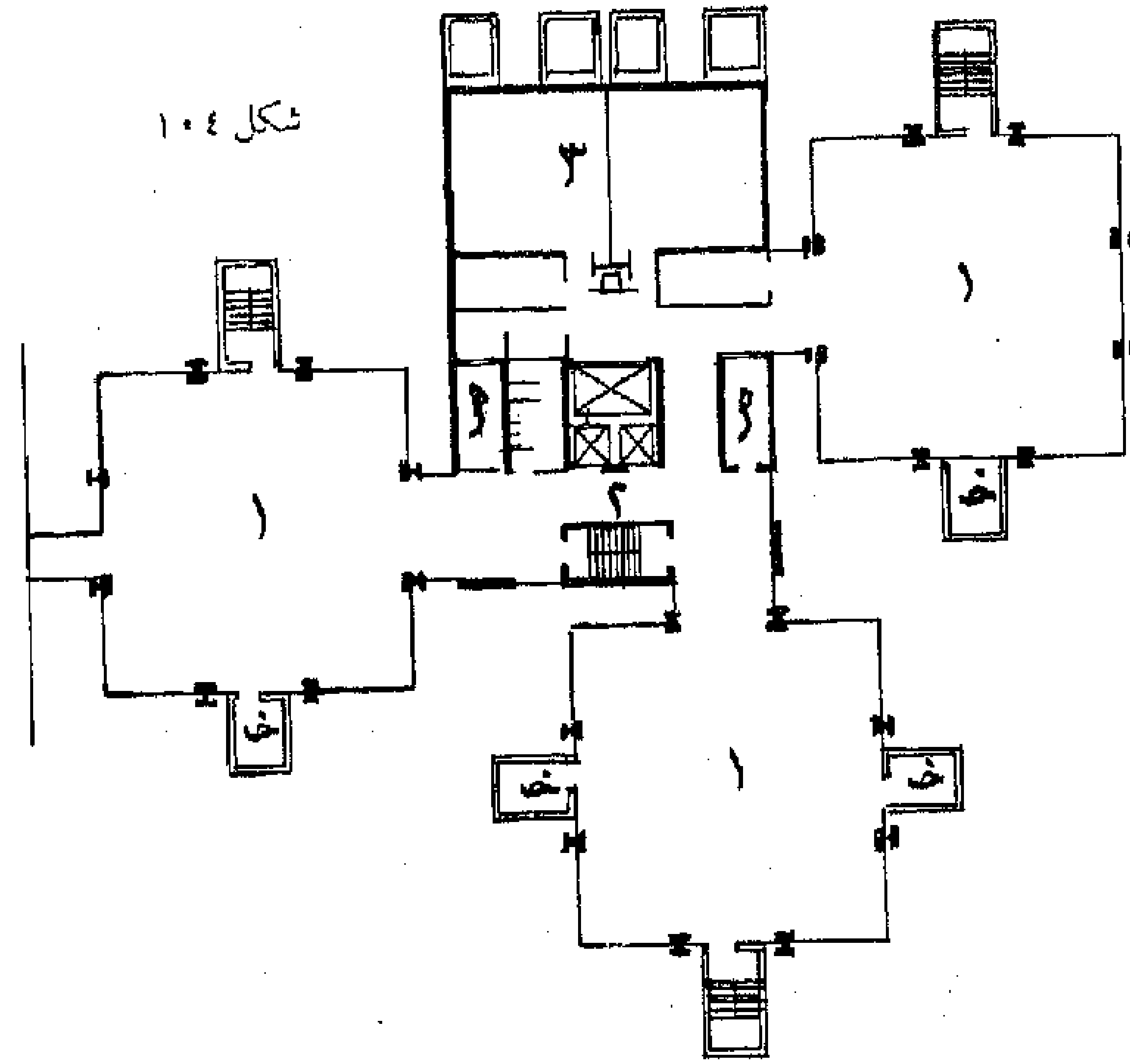
شکل ۱۰۲



شکل ۱۰۳

سبق التجهيز – باستعمال جمالونات خفيفة

(شكل ١٠١) حظيرة طائرات فى إيطاليا (سنة ١٩٤٠–٤١) المهندس بيرلويجى نيرڤى .
(شكل ١٠٢) مسقط أفقى للحظيرة السابقة .
(شكل ١٠٣) أربعة جمالونات جاهزة تتقابل على وصلة مصبوبة على الموقع مع لحام أسياخ التسليح البارزة من كل وحدة كهربائياً .

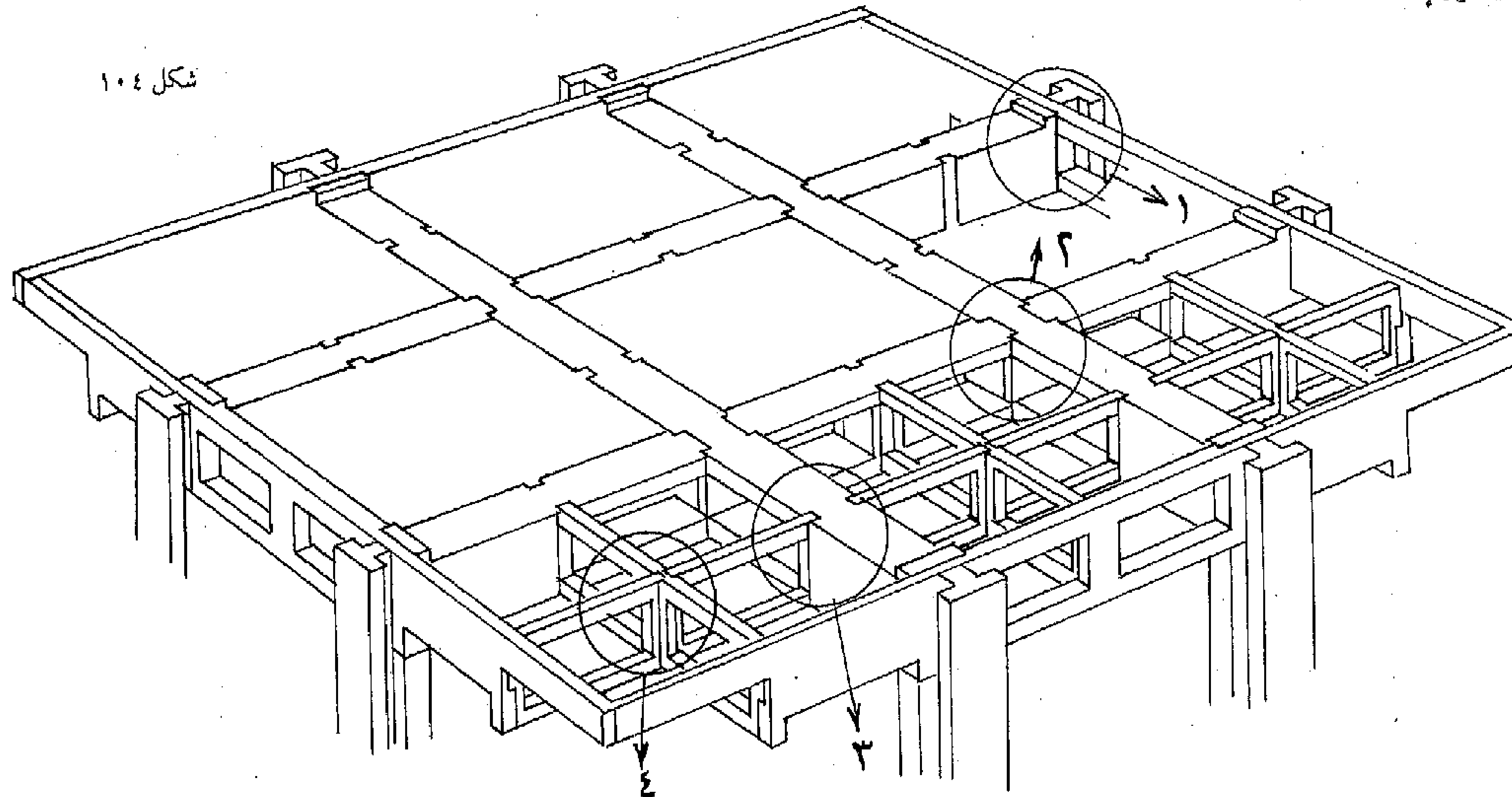


شكل ١٠٤

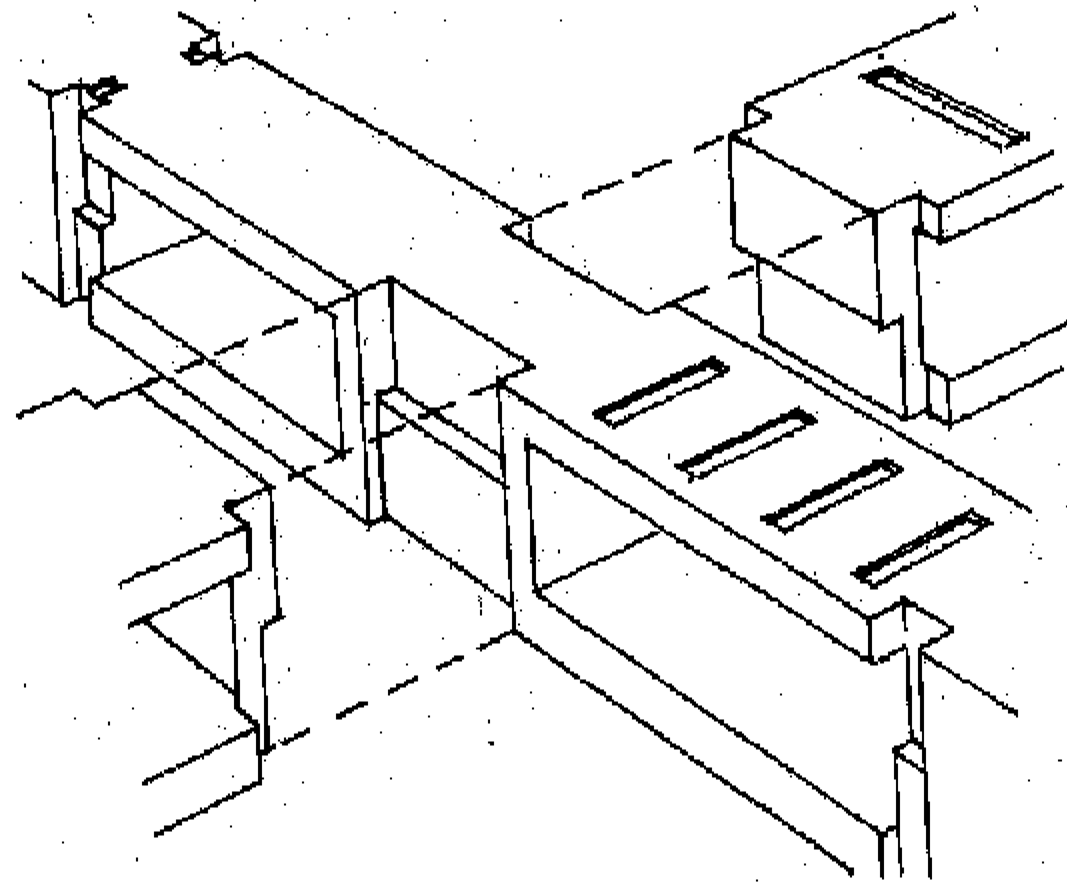
١ – بـرج المعـمل
٢ – سـبرج الخدمات
٣ – قسم الحيوان
ﺃ – هـواء مكيف
ﻫ – هـواء خارجى
خ – هـواء خـارج

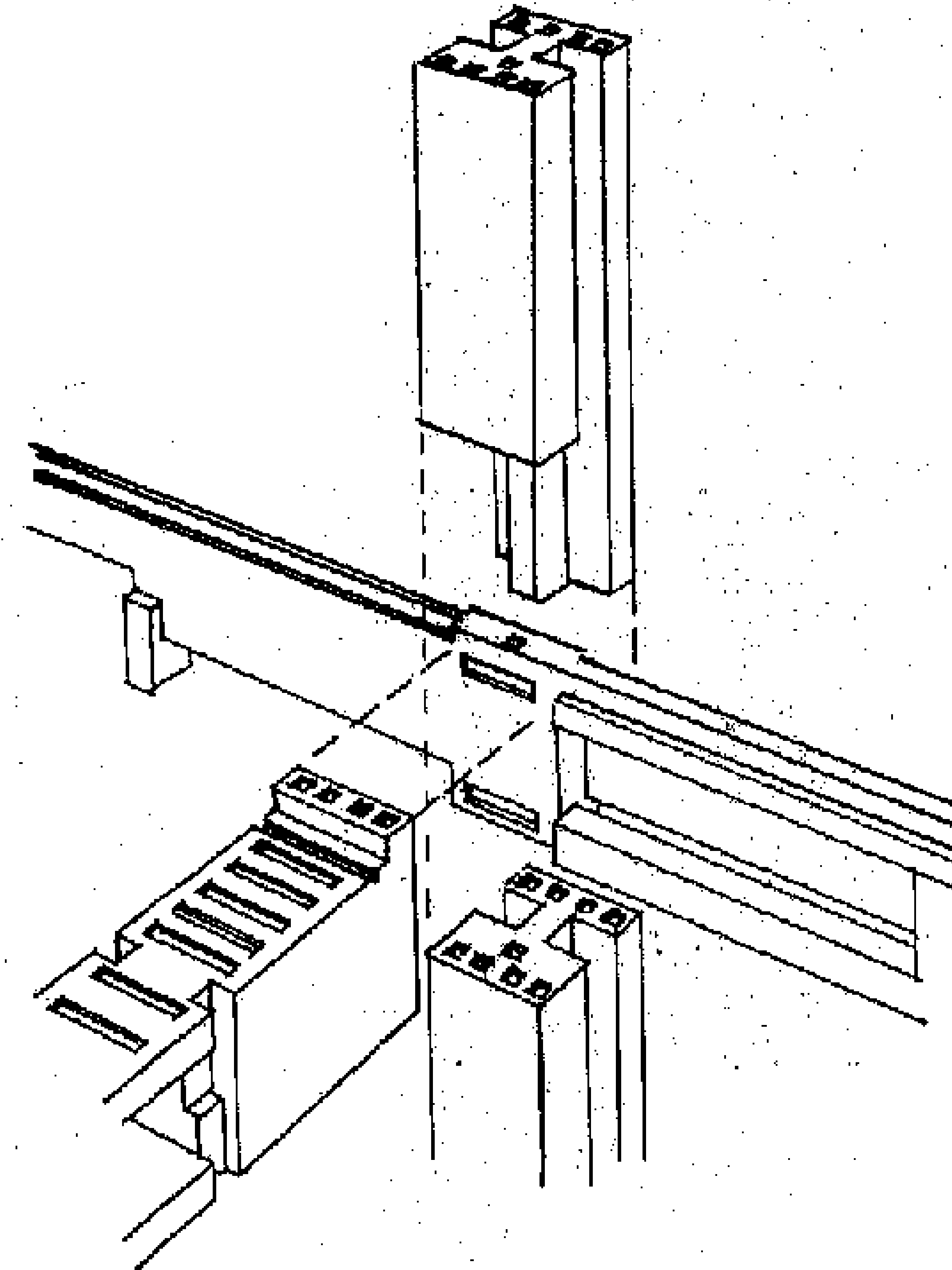
سبق التجهيز باستعمال وحدات جمالونات خفيفة

شكل ١٠٤) معهد الأبحاث الطبى ببنسلڤانيا بولاية فلادلفيا – مسقط أفقى للدور ومنظور لإنشاء السقف .

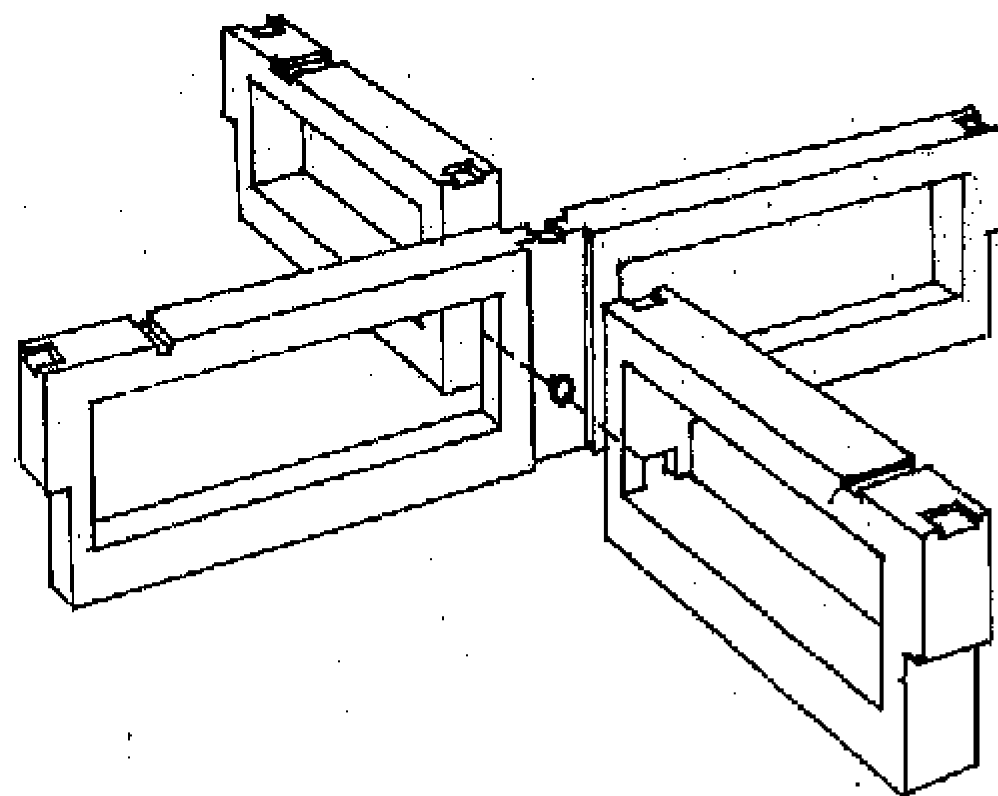


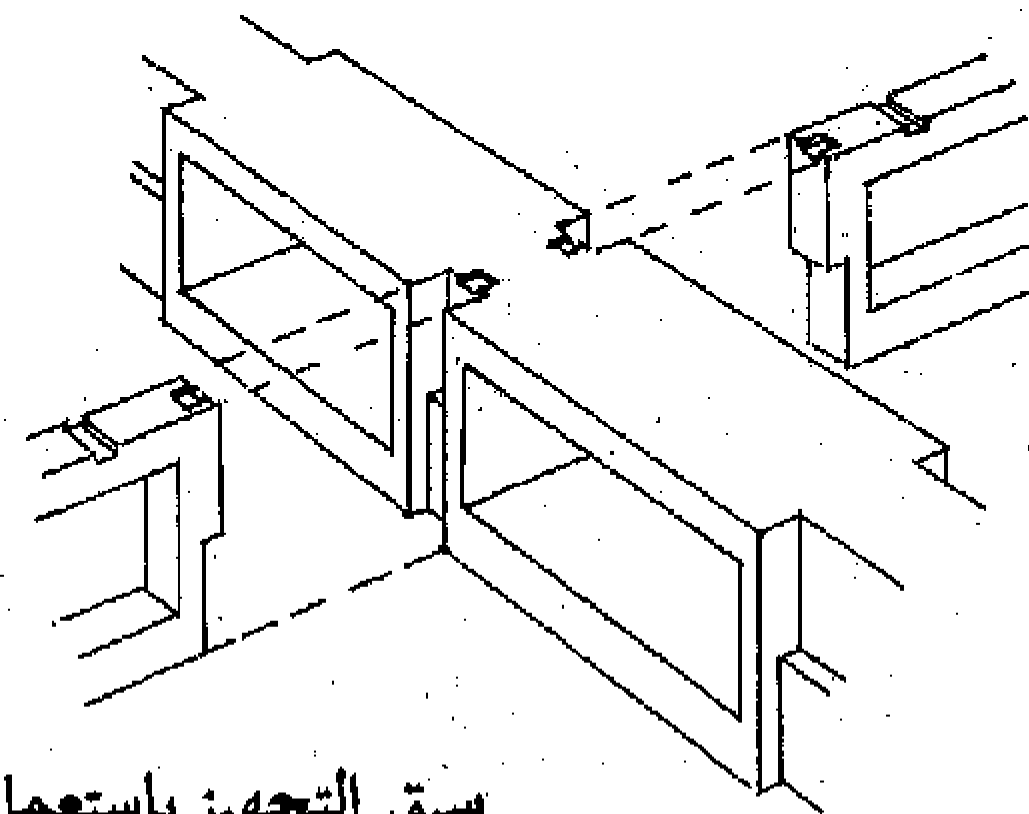
شكل ١٠٤





شكل ١٠٥

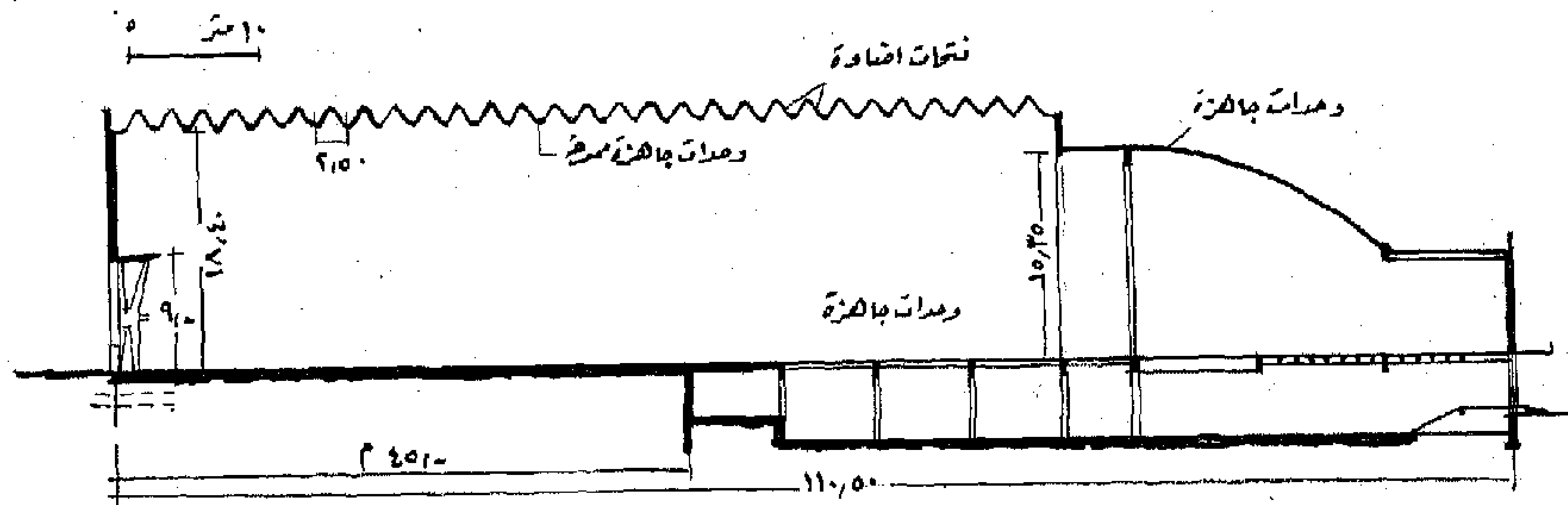




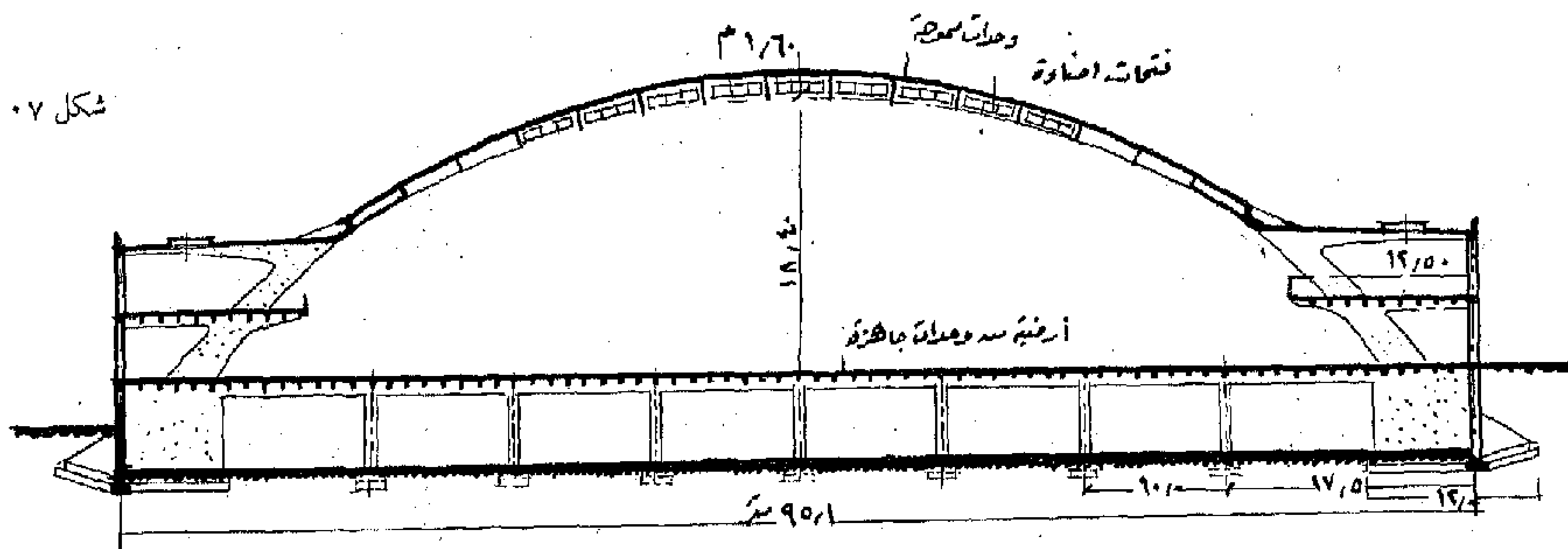
سبق التجهيز باستعمال وحدات جمالونات خفيفة

(شكل ١٠٥) تفصيلات الوصلات فى الأسقف الجاهزة .

شكل ١٠٦



شكل ١٠٧



سبق التجهيز — وحدات أسمنت مسلح مموجة

(شكل ١٠٦) الصالة الرئيسية لمعرض تورينو بإيطاليا ١٩٤٨ — المهندس بيرلويجي نيرفي.
(شكل ١٠٧) قطاع طولي وعرضي في المبنى.

شكل ١٠٨

شكل ١٠٩

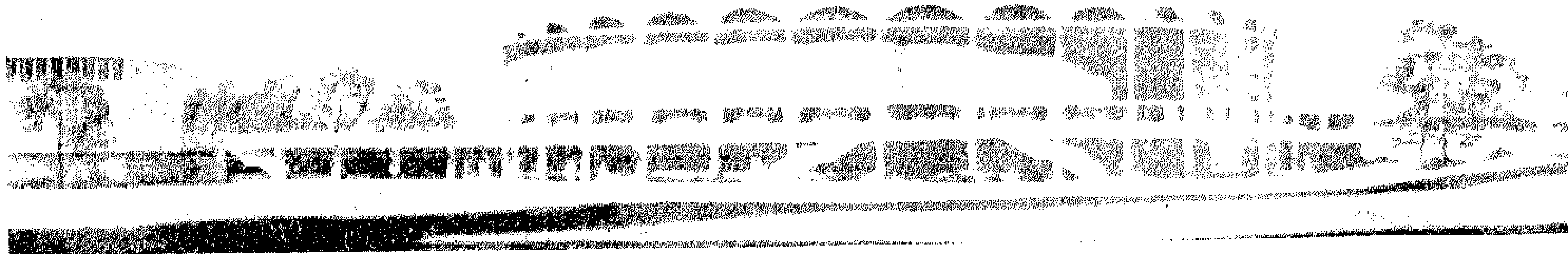
سبق التجهيز — وحدات أسمنت مسلح مموجة

(شكل ١٠٨) بلاطات أسمنت مسلح .
(شكل ١٠٩) استعمال صلبات خارجية فقط فى أشكال الأسمنت المسلح
(شكل ١١٠) نقل الوحدات المموجة الجاهزة لموضعها النهائى فى سقف حمام سباحة الكلية البحرية فى ليجهورن .
(شكل ١١١) قطاع عرضى فى الوحدة المموجة فى صالة تورينو الرئيسية .
(شكل ١١٢) الوحدة المموجة مغطاة ببلاطات مجوفة وطبقة من الخرسانة مصبوبة على الموقع.

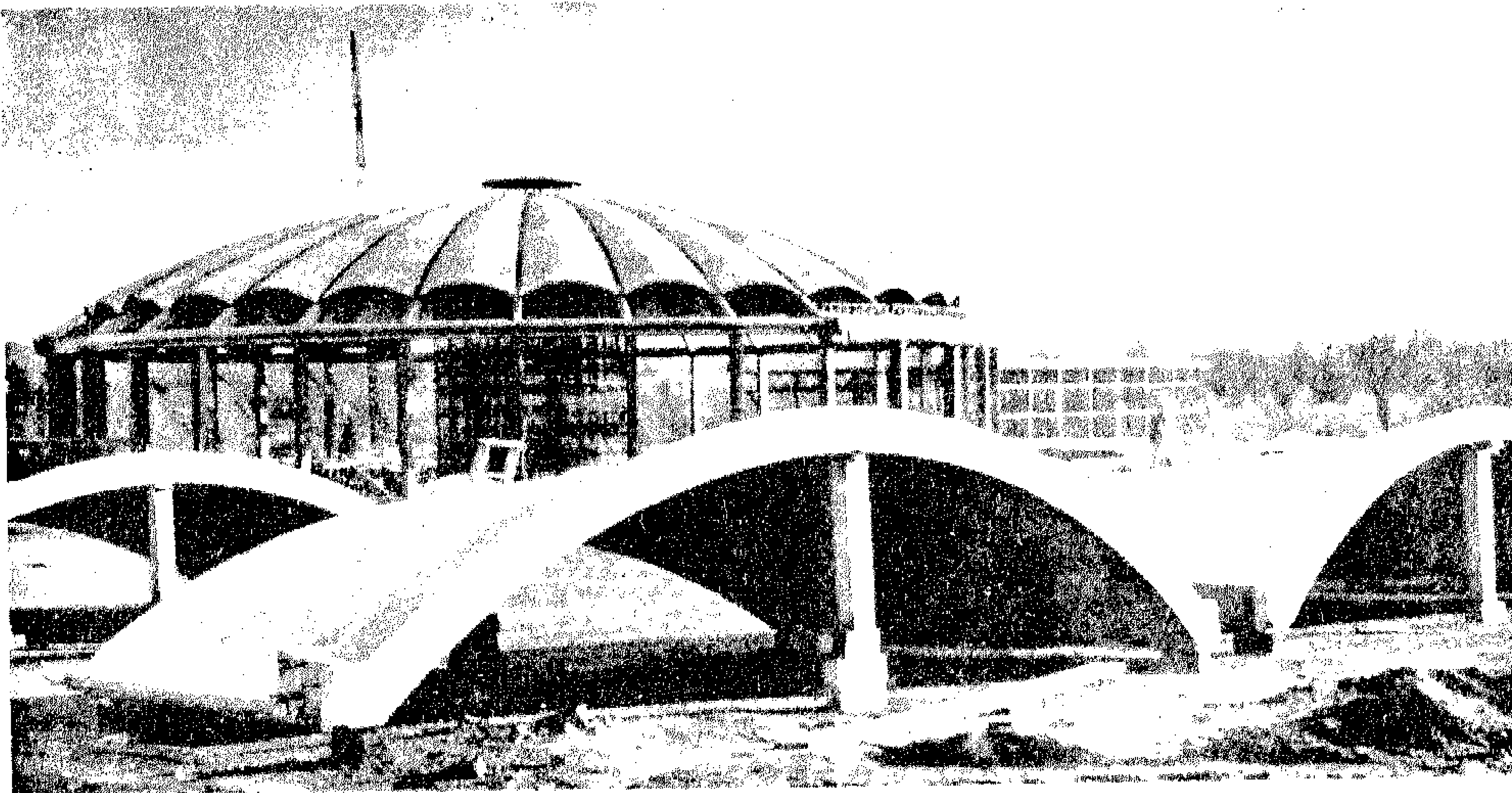
شكل ١٠

شكل ١١١

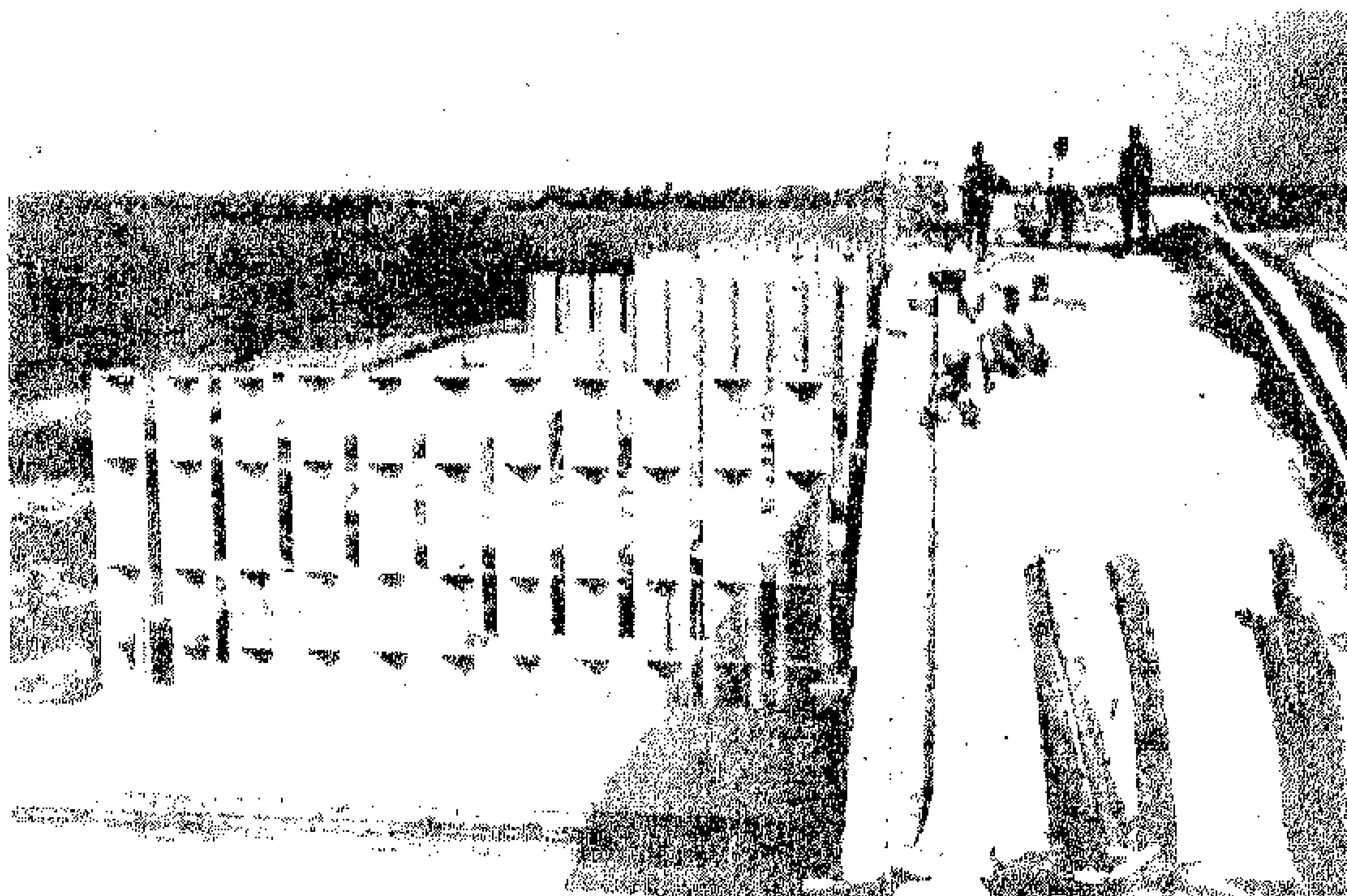
شكل ١١٢



شكل ١١٣



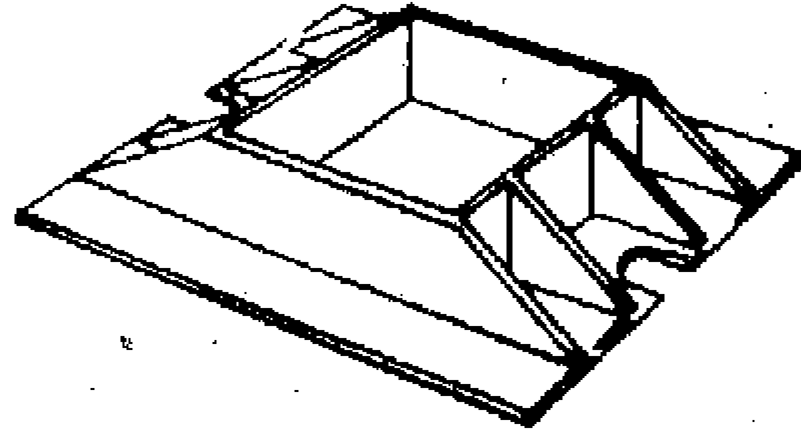
شكل ١١٤



سبق التجهيز على الموقع

(شكل ١١٣) سقف قشرى دائرى قطر ٩٠ مترا لمسرح وجمنازيوم بجامعة فرجينيا سنة ١٩٦٥ .

(شكل ١١٤) وحدات جاهزة مثلثة القطاع تحمل أسقف حظيرة طائرات فى بانسيڤو بيوغوسلافيا - المهندس الإنشائى لافاى .



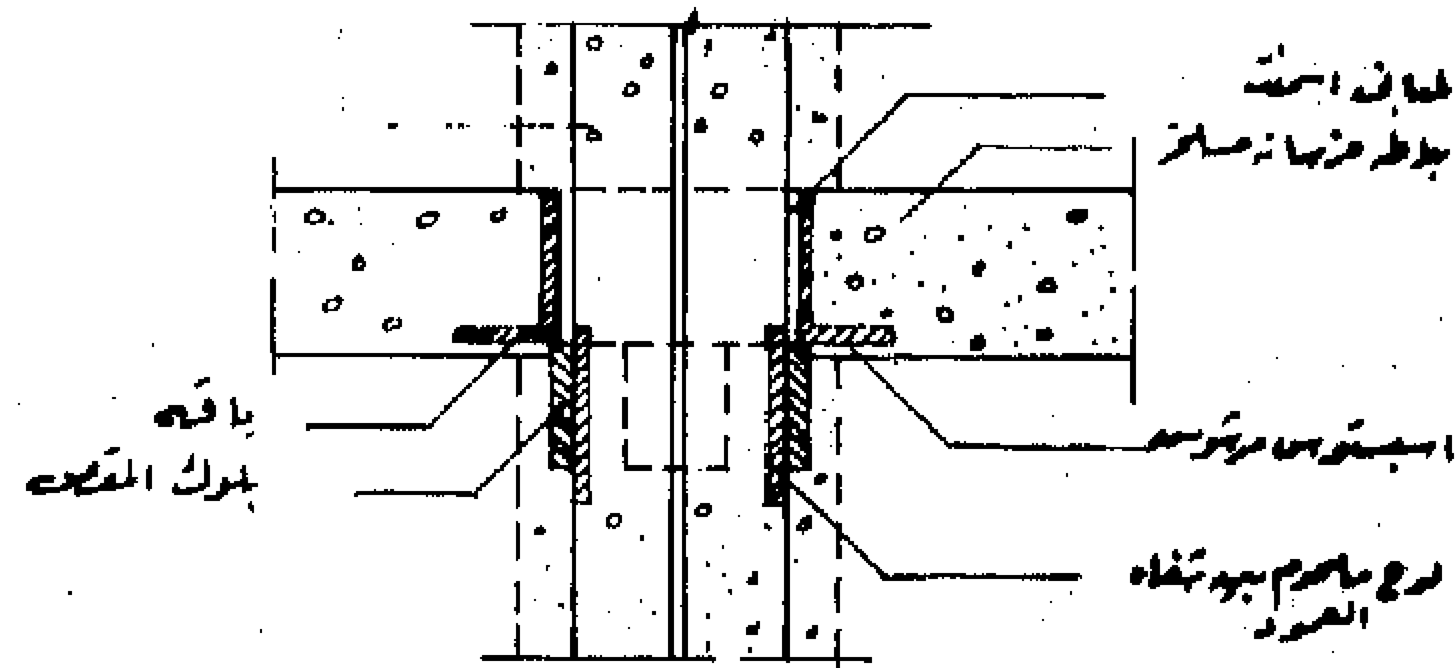
شكل ١١٦

الياقة الصلب التي تستعمل في وصلة البلاطة بالعمود

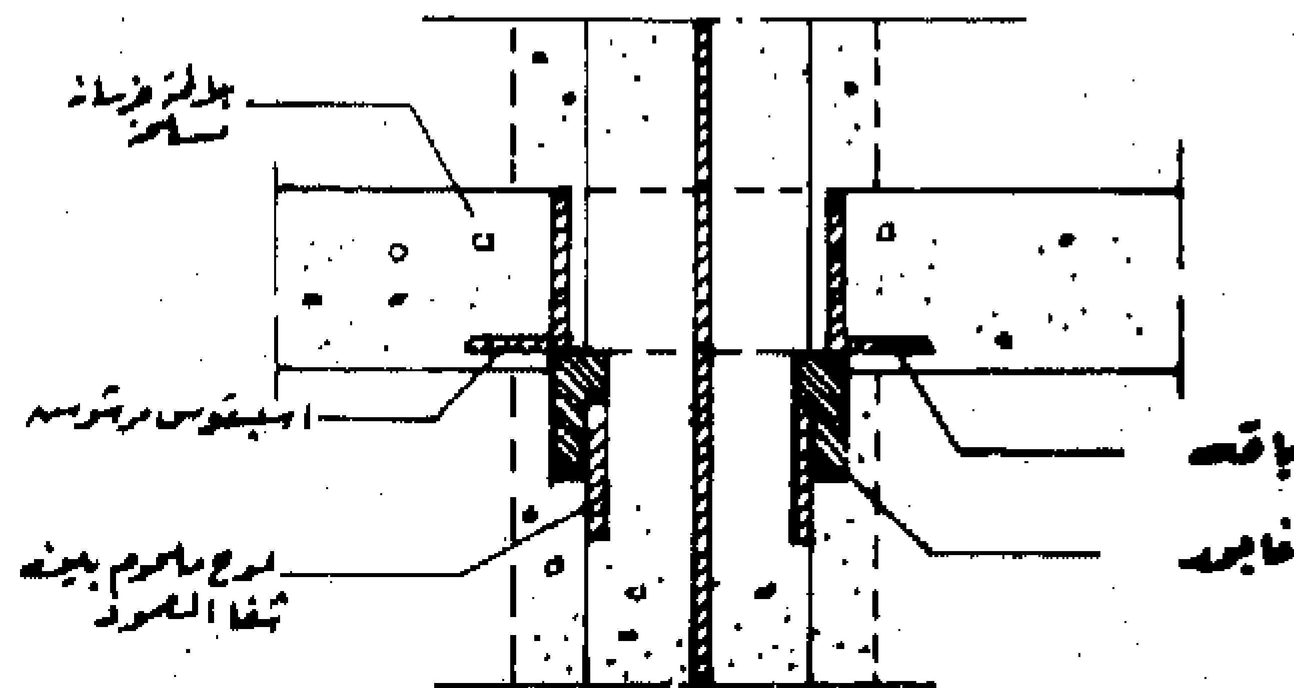
سبق التجهيز بطريقة البلاطات المرفوعة

(شكل ١١٥) المرحلة الأولى في بناء بلوك من تسعة أدوار — السقف الأول في موضعه النهائي — البلاطات ٢ ، ٣ ، ٤ أثناء رفعها — الخمس بلاطات العليا منتظرة في أعلى الأعمدة .

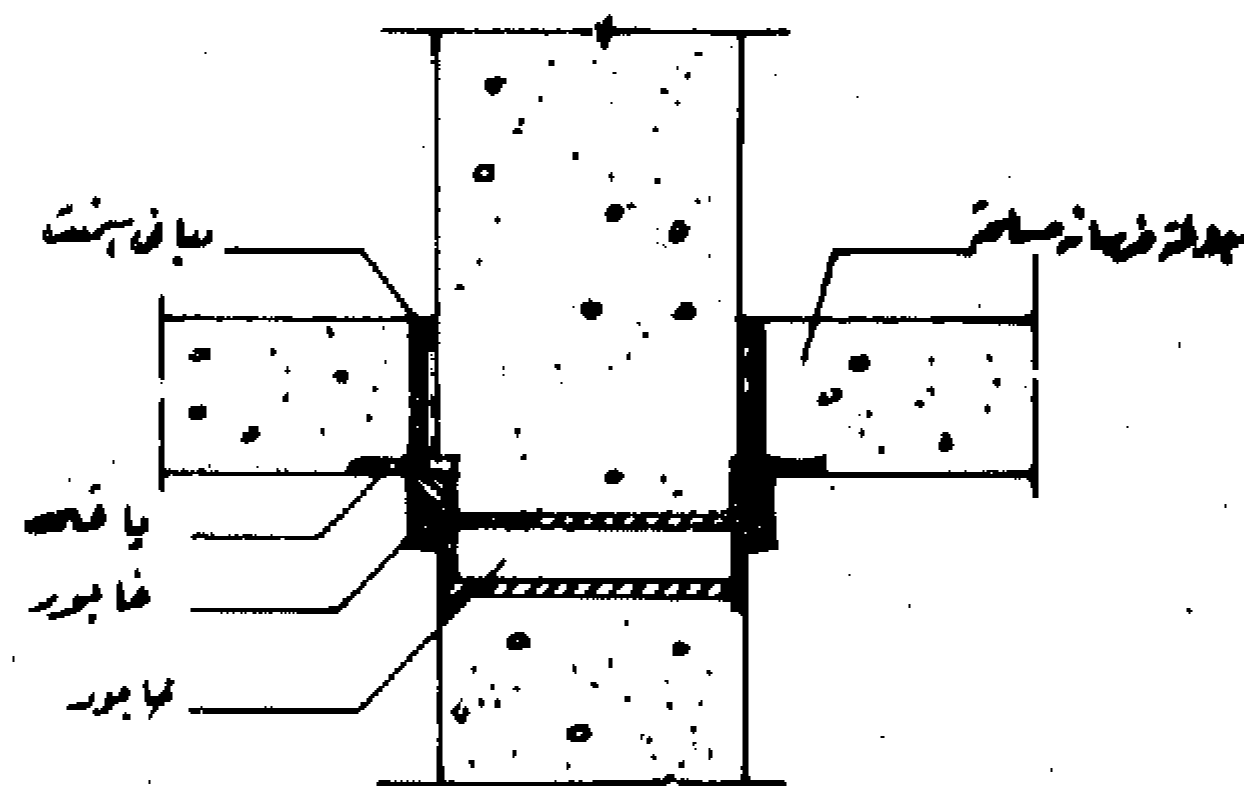
(شكل ١١٦) تفصيلات لوصلات البلاطة بأعمدة من الصلب والخرسانة .



الوصلة بالعامود الصلب باستعمال لحام طرفي أفقي على الموقع

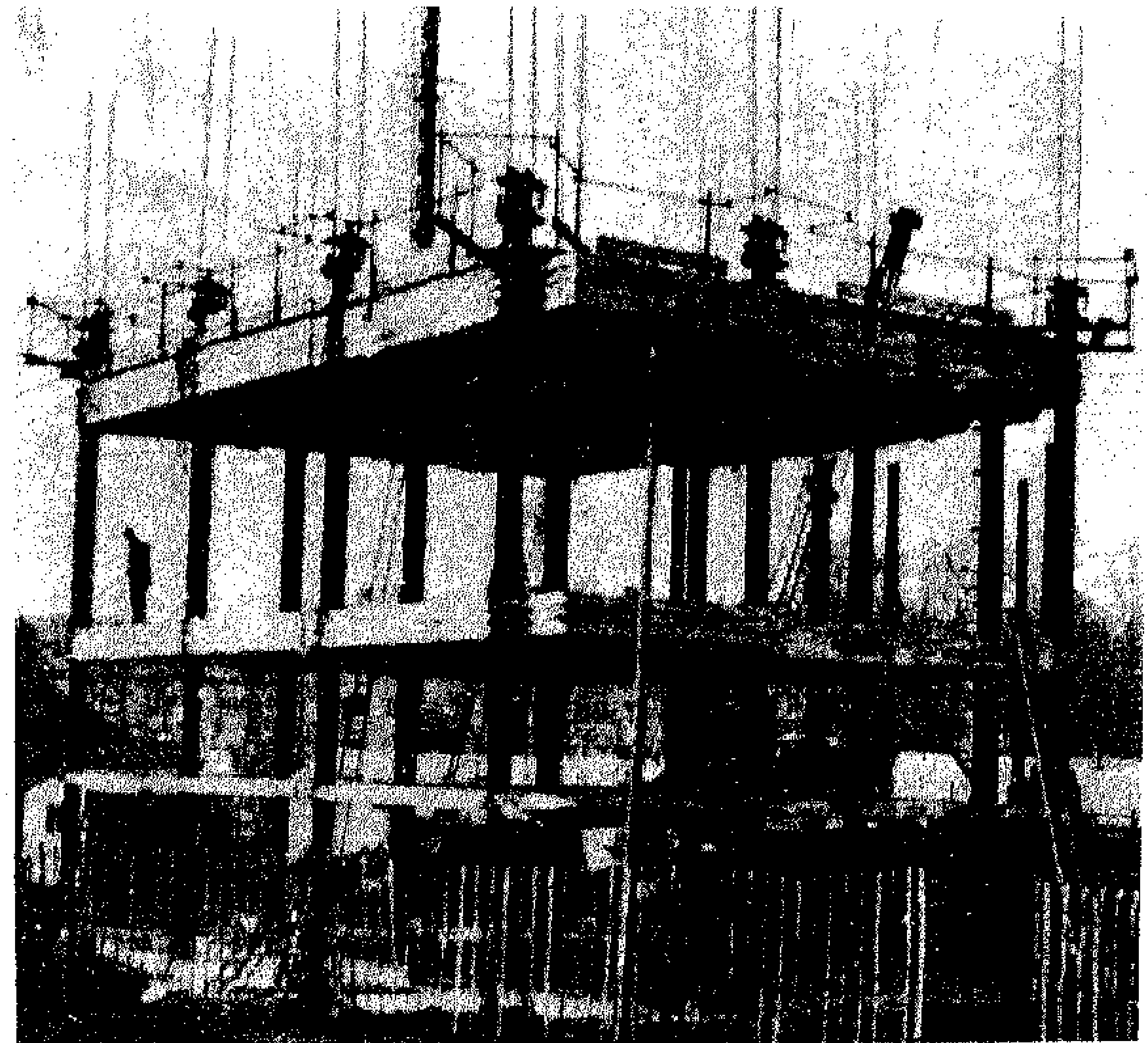


الوصلة بالعامود الصلب ملحومة في المصنع



الوصلة بعامود خرساني

شكل ١١٥

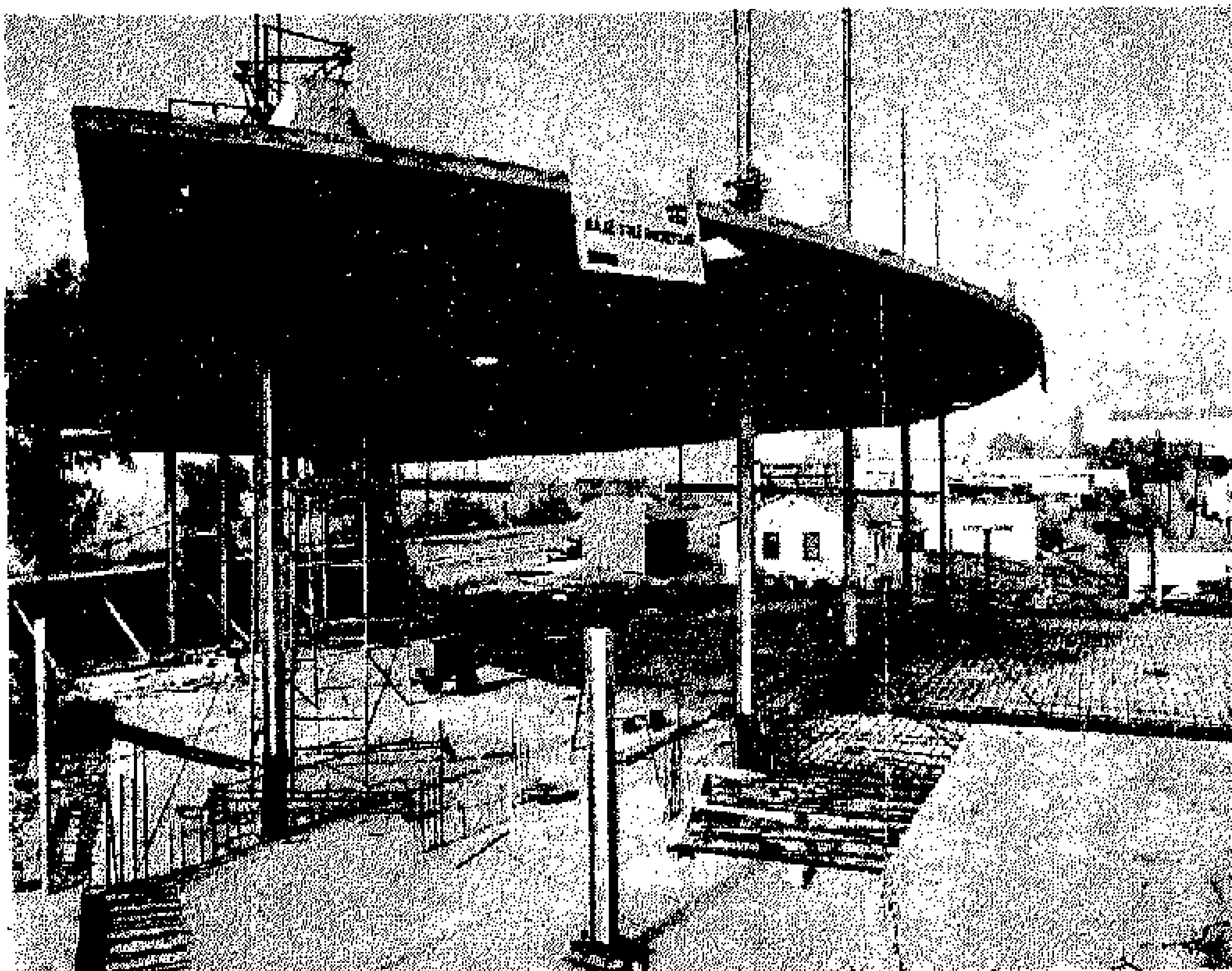


سبق التجهيز بطريقة البلاطات المرفوعة

أشكال غير مستطيلة

(شكل ١١٧) سقف على شكل مروحة لمعبد اسحق بلوس انجلوس .

(شكل ١١٨) منظر علوى لسقف معبد إسحق وفيه تظهر الكمرات المقلوبة ولوحة التوزيع.

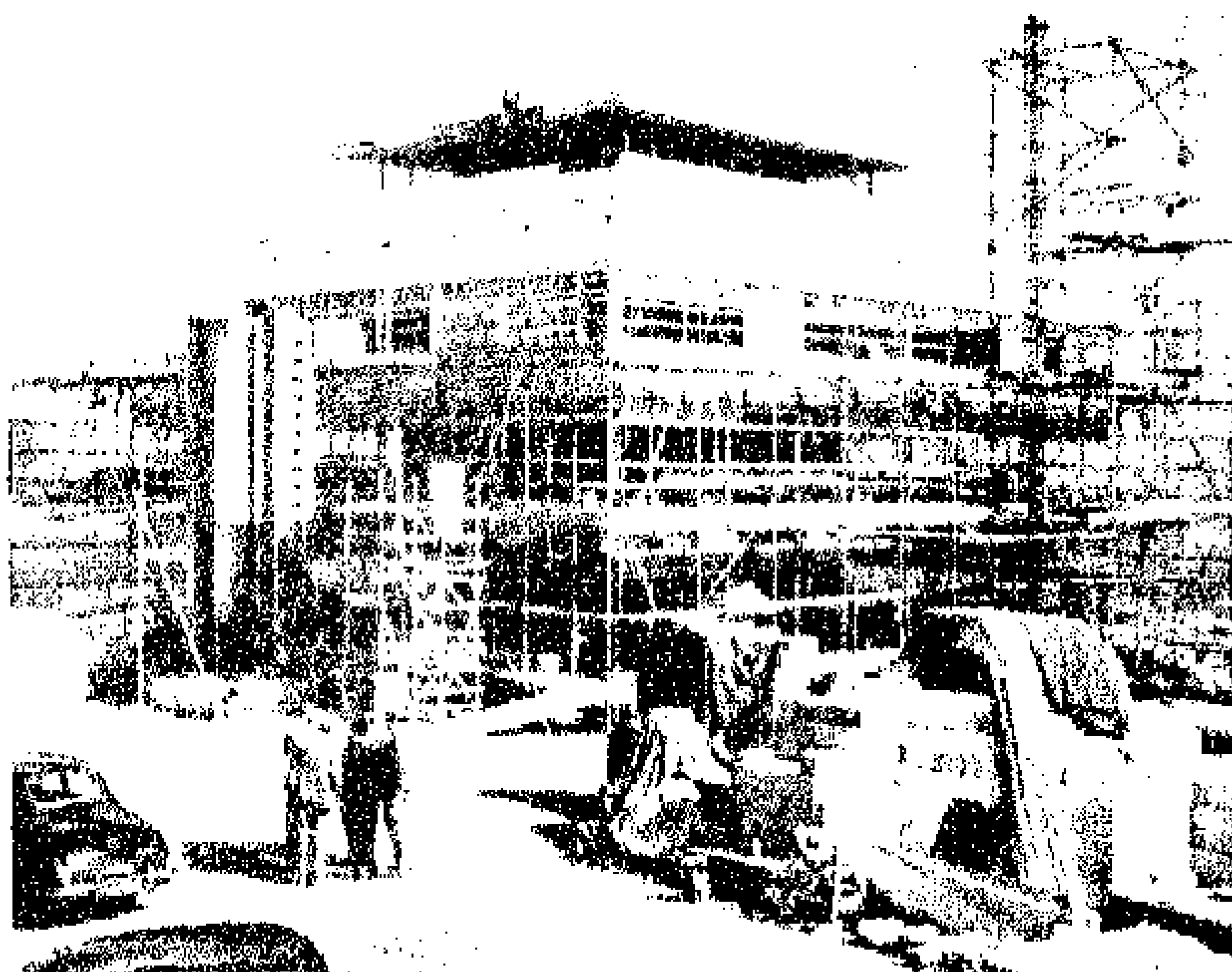


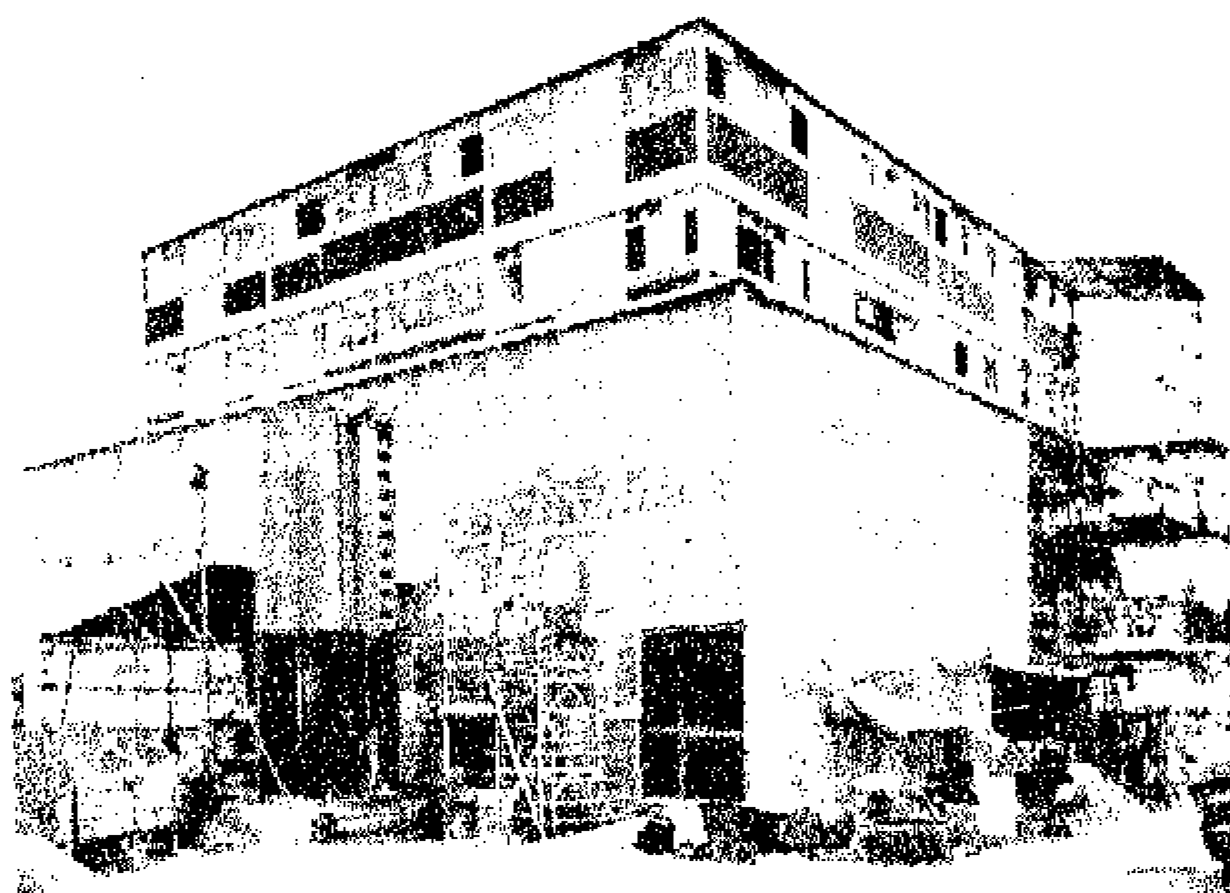
شكل ١١٧

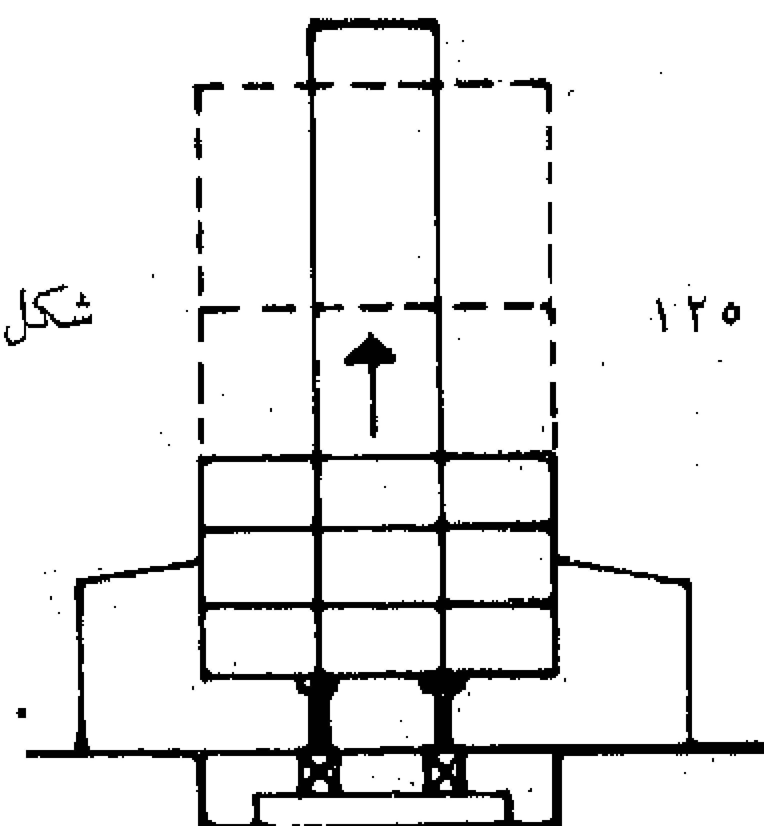
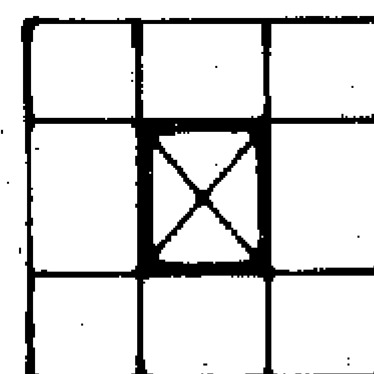
شكل ١١٨

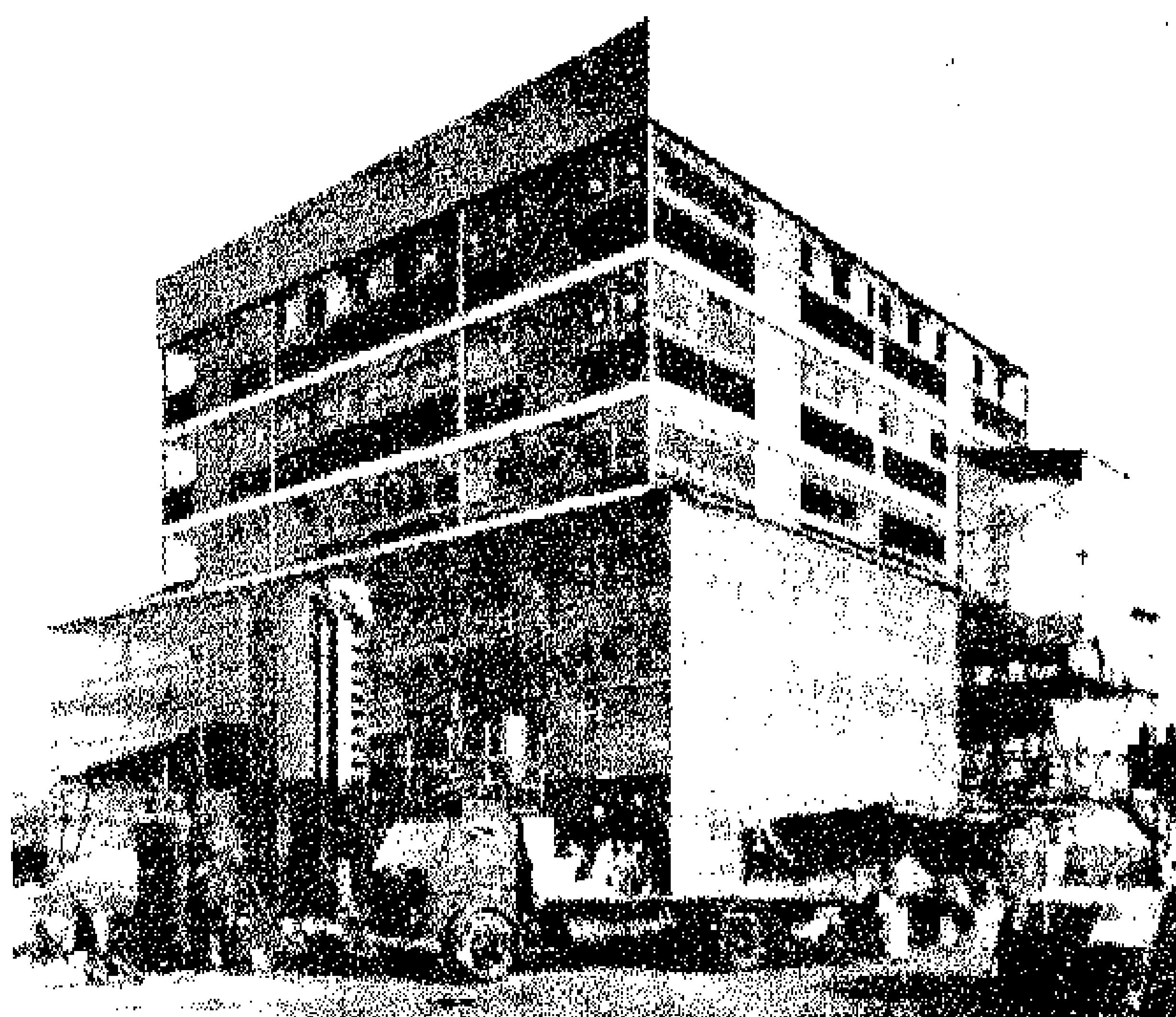
سبق التجهيز بطريقة جاك بلوك

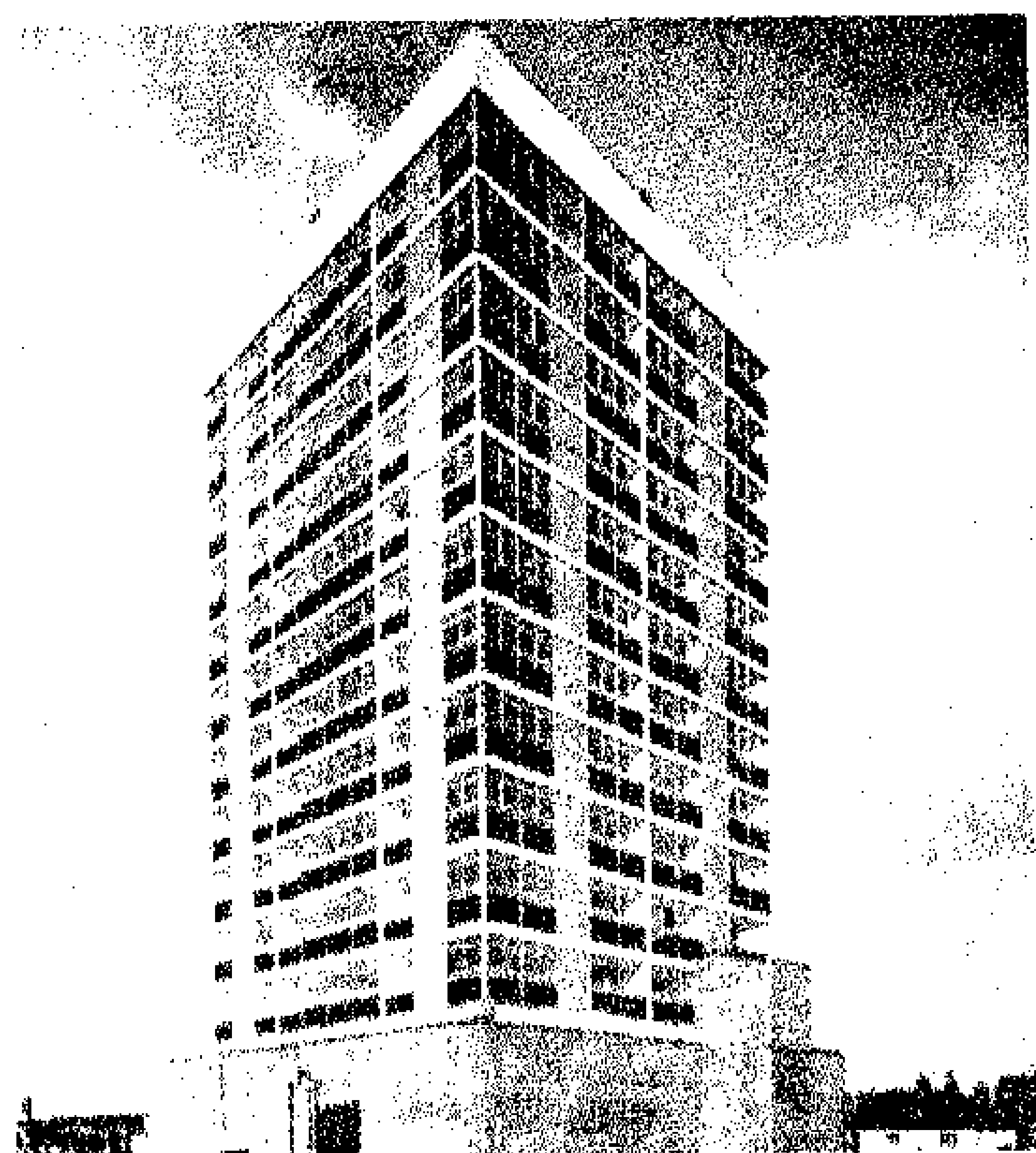
(شكل ١١٩) ٣ أدوار فى سبتمبر سنة ١٩٦٢
(شكل ١٢٠) ٥ أدوار مع استعمال غشاء بلاستك حول الموقع
(شكل ١٢١) ٦ أدوار إلى أعلى
(شكل ١٢٢) العمارة فى مارس سنة ١٩٦٣
(شكل ١٢٣) مسقط الدور المتكرر مبينا موضع حوائط القلب التى رفعت العمارة من تحتها .
(شكل ١٢٤) مسقط الدور الأرضى .
(شكل ١٢٥) قطاع

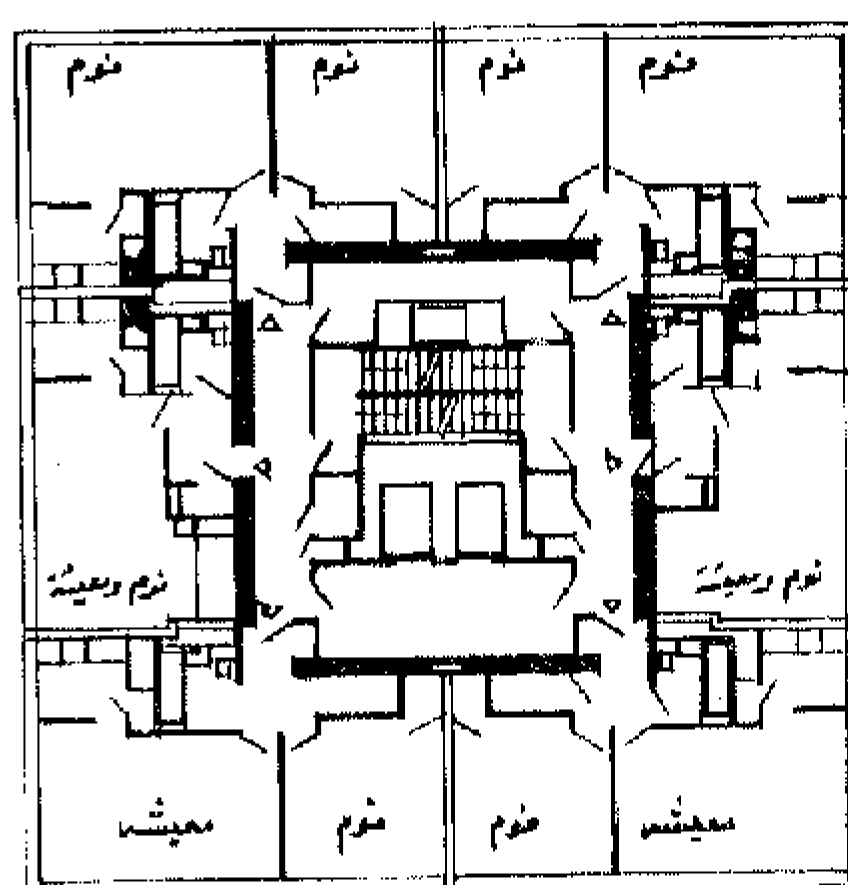

شكل ١١٩


شكل ١٢٠

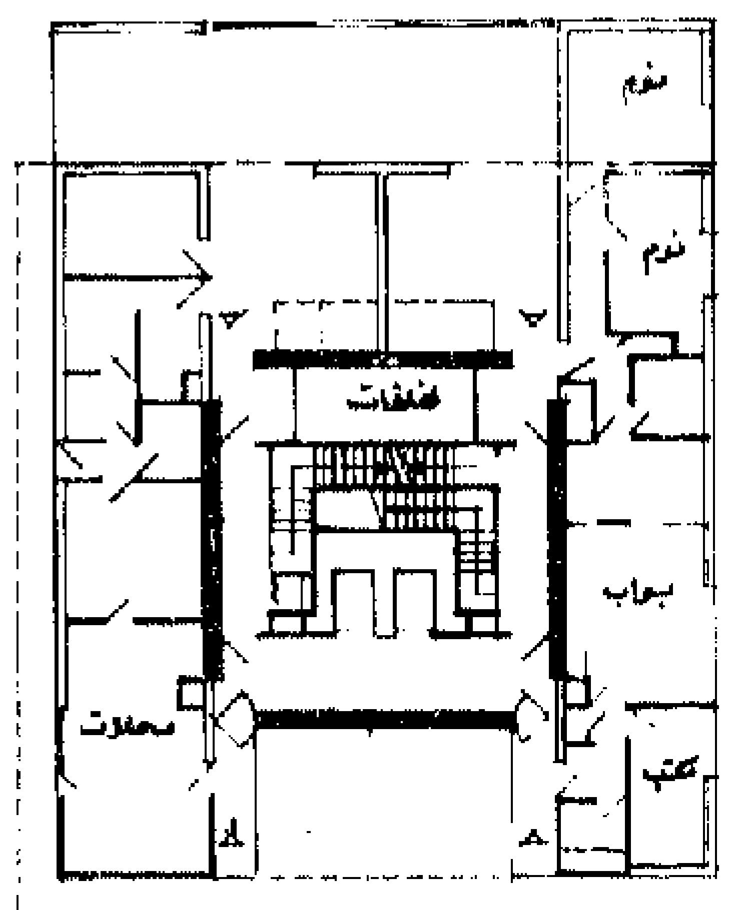


شكل ١٢٥


شكل ١٢١

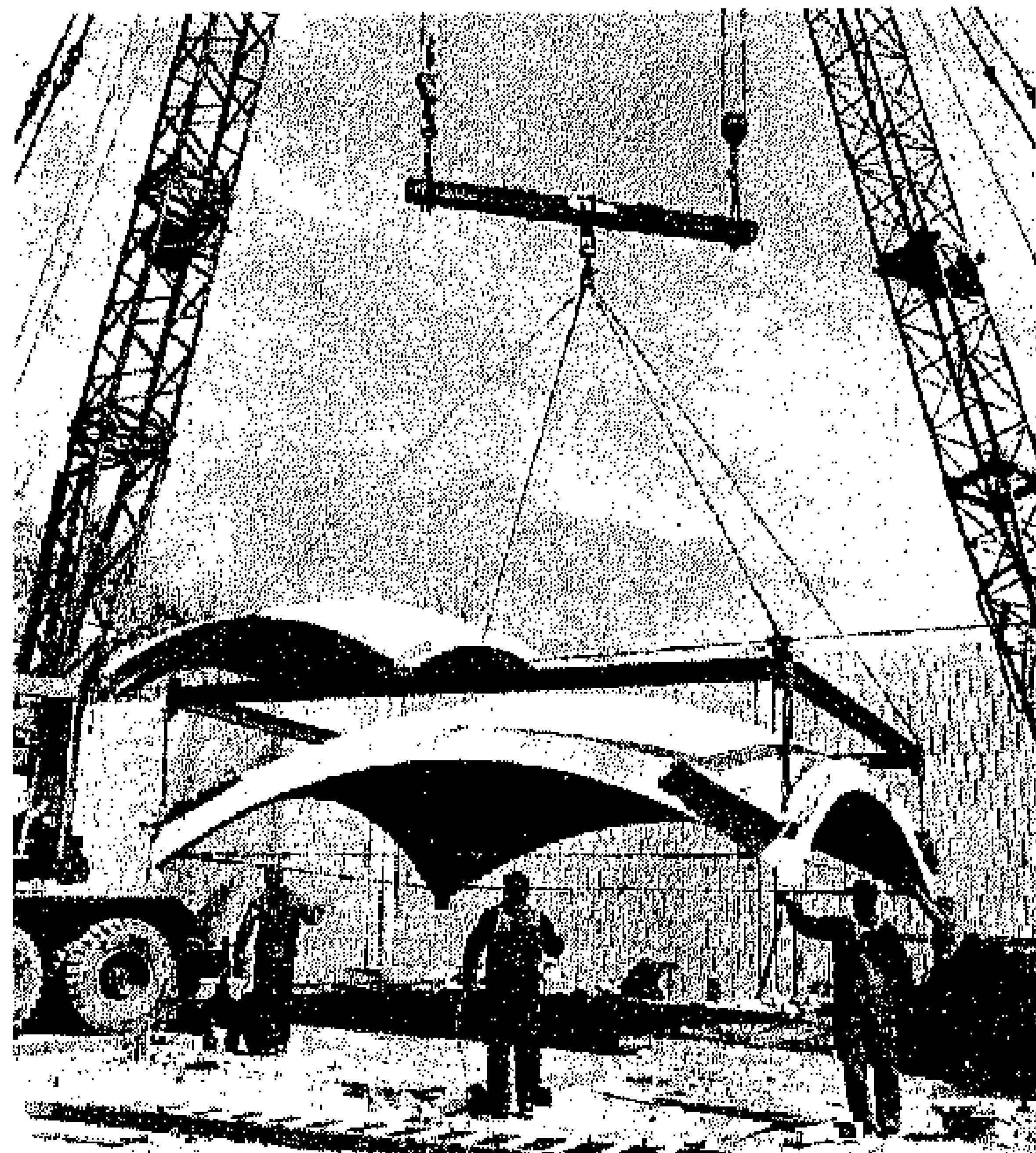




شكل ١٢٣



شكل ١٢٤



شكل ١٢٧

سبق التجهيز رفع الصدفات القشرية

(شكل ١٢٦) وحدات جاهزة قشرية انتقالية ترفع لموضعها النهائى فى سوق تجارى بمدينة نيو كانن بولاية كنتكت . (المعماريين ڤكتور كرايست – چانز وشركاؤهم ، والإنشائيين ودلنجر وسالڤادورى)

(شكل ١٢٧) سوق نيوكانن – الرفع عن طريق هيكل حديدى خاص .

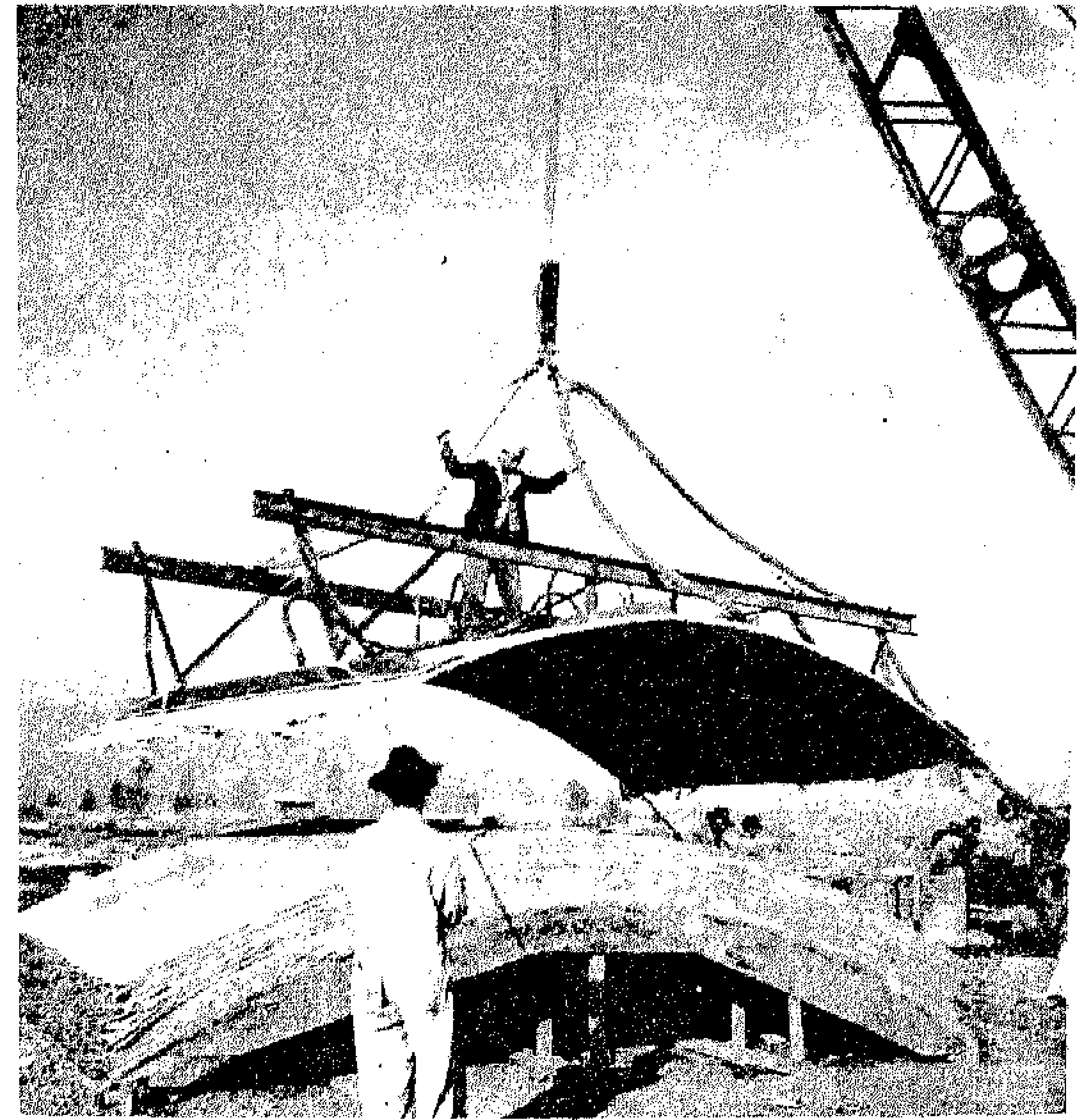
شكل ١٢٨



شكل ١٢٩



شكل ١٣٠



سبق التجهيز – رفع الصدفات القشرية

قبوات المهندسين سولانو وأورتيجا

(شكل ١٢٨) صب من ثلاثين إلى أربعين صدفة واحدة فوق الأخرى فى مشروع إسكان شعبى فى بوجوتا بكولومبيا .

(شكل ١٢٩) تجفيف الخرسانة بالتفريغ .

(شكل ١٣٠) رفع الصدفات بالتفريغ .

سبق التجهيز – رفع الصدفات القشرية

قبوات المهندسين سولانو وأورتيجا

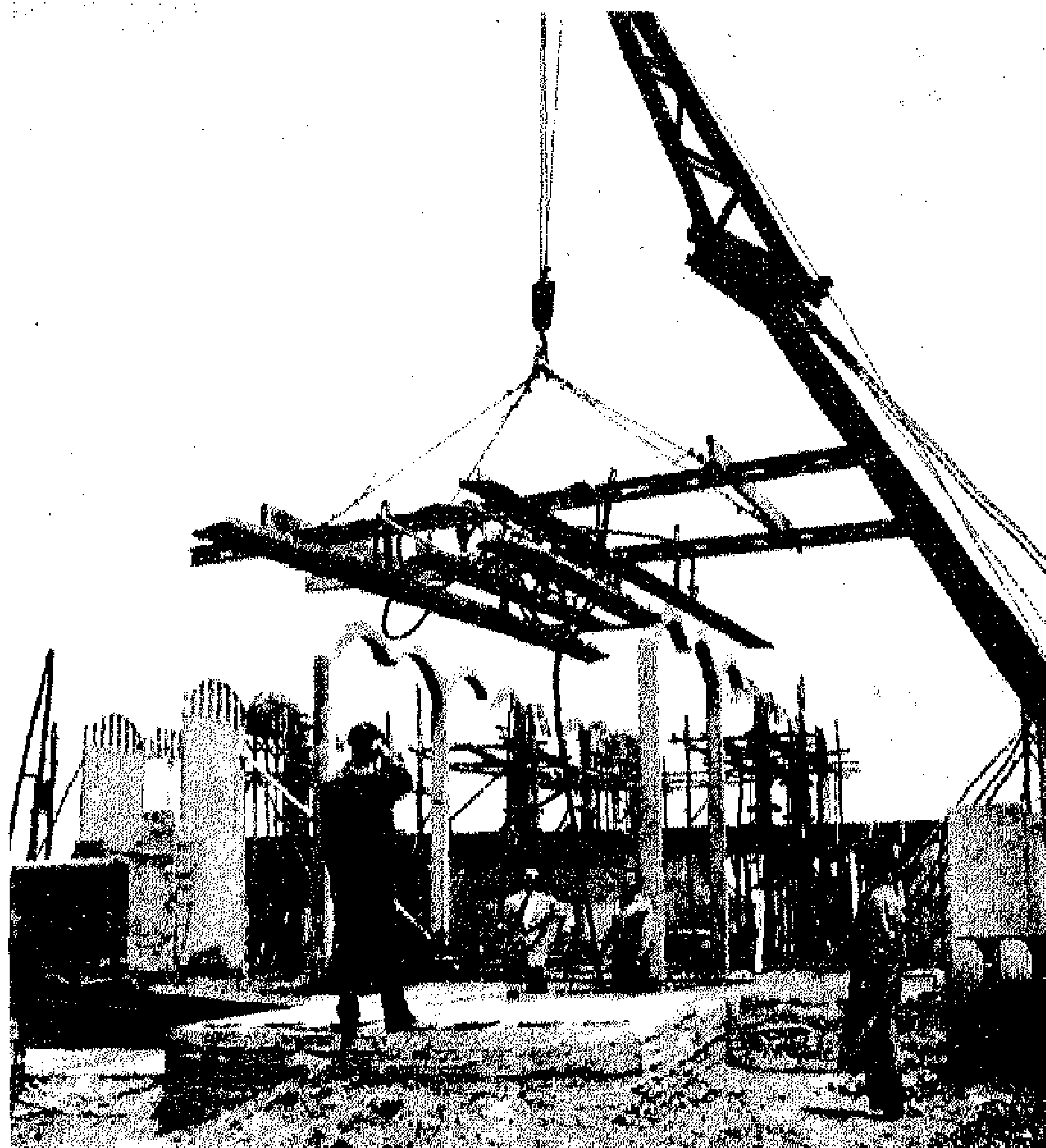
(شكل ١٣١) هياكل مزدوجة الكوابيل لحمل قبوات صدفية فى مصنع كلارك شيكل فى بوجوتا بكولومبيا .

(شكل ١٣٢) إمالة حوائط المصنع لوضعها النهائى.

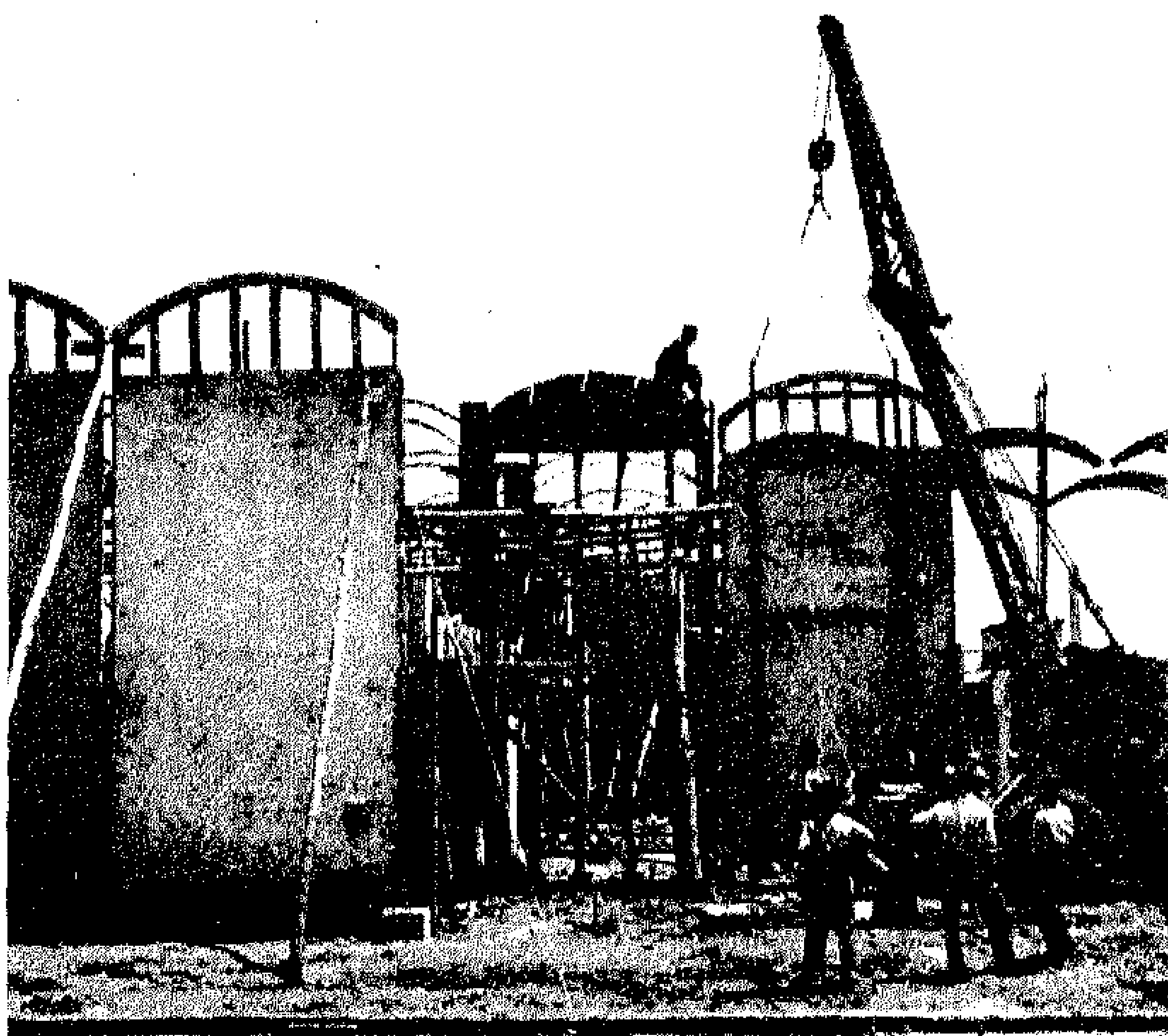
(شكل ١٣٣) رفع الصدفات لمكانها النهائى.

(شكل ١٣٤) صب وصلات الحوائط على الموقع .

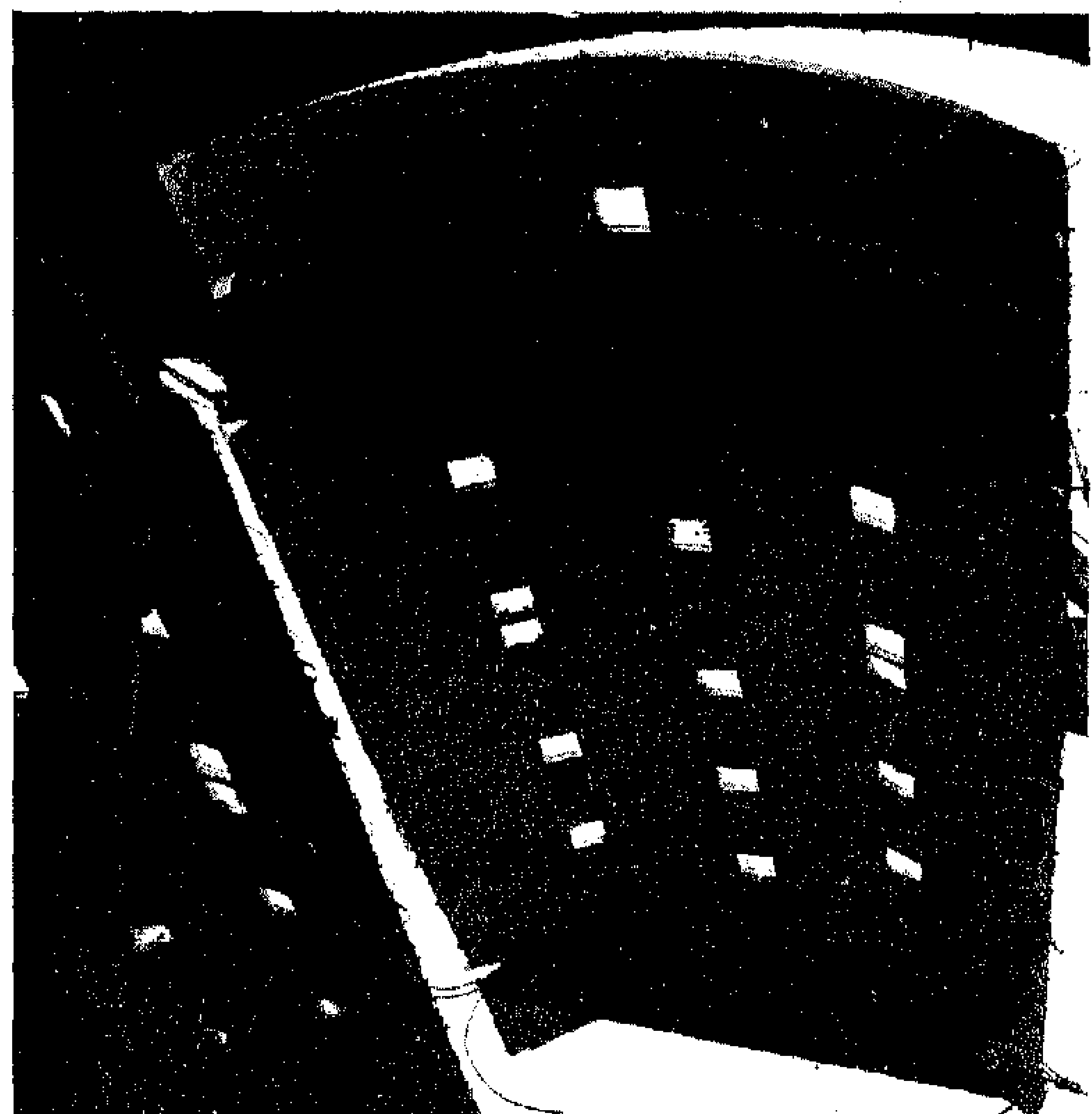
شکل ۱۳۱



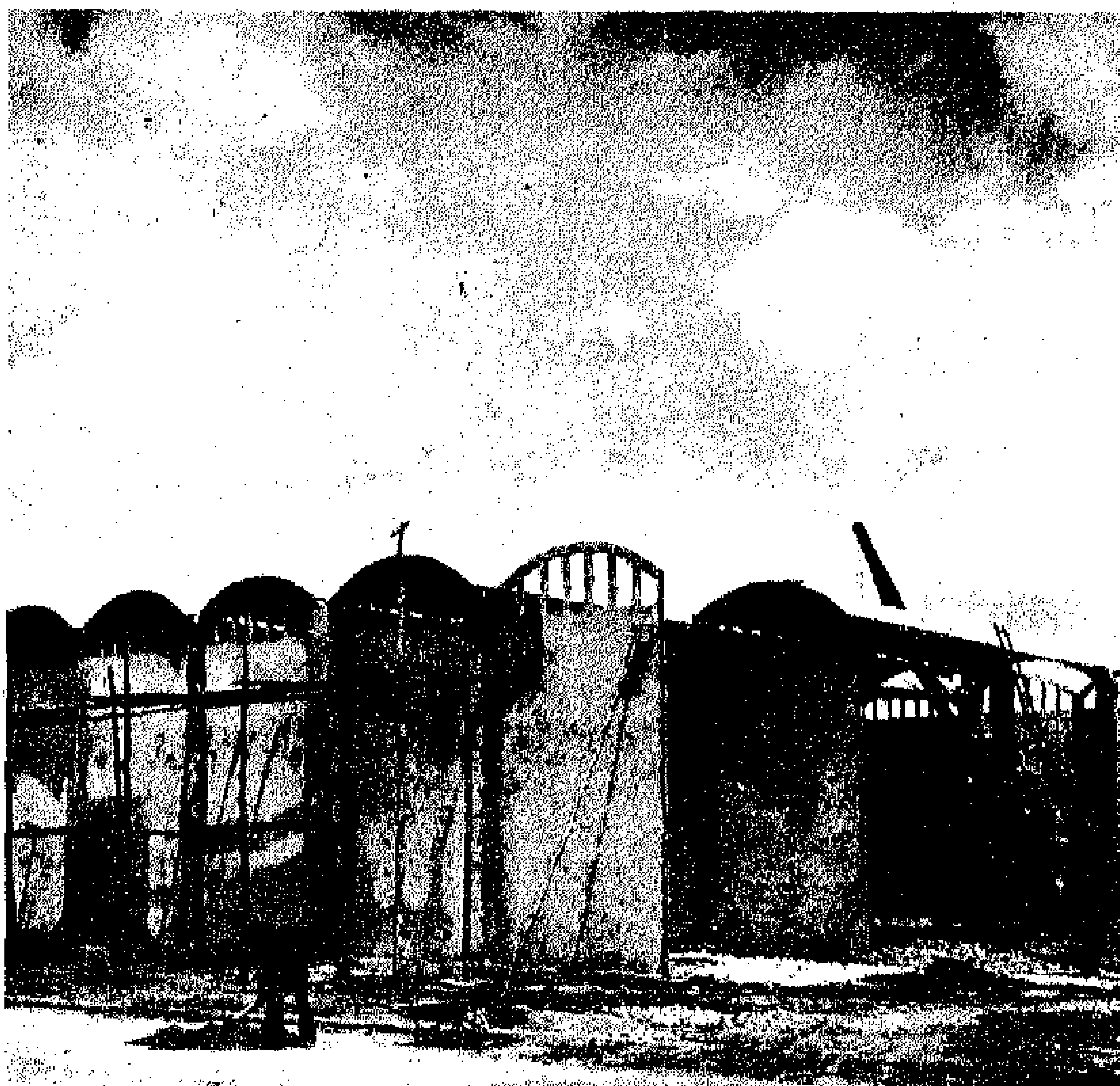
شکل ۱۳۲



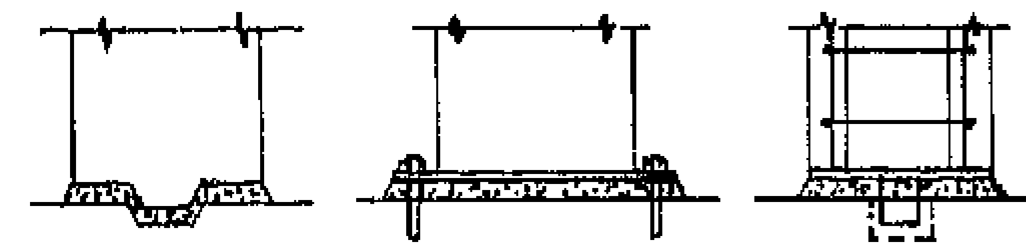
شکل ۱۳۳



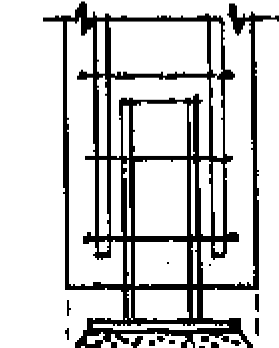
شکل ۱۳٤



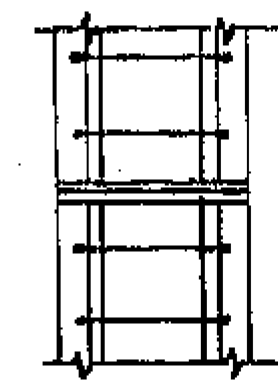
شكل ١٣٥



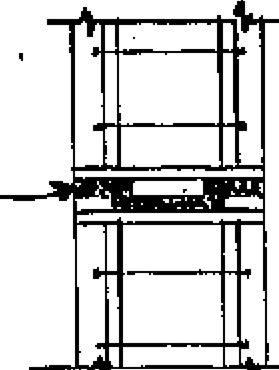
قاعدة خرسانة عادية



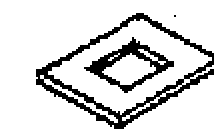
أشكال صلب إنشائى مدفونة

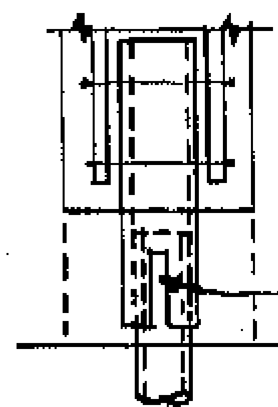


خرسانة مسلحة



مساند ذات جهد مرونة منخفضة

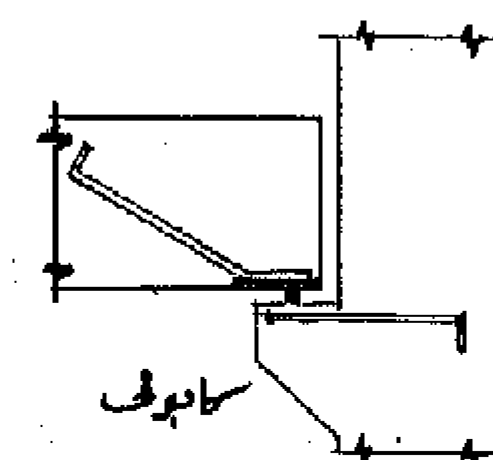




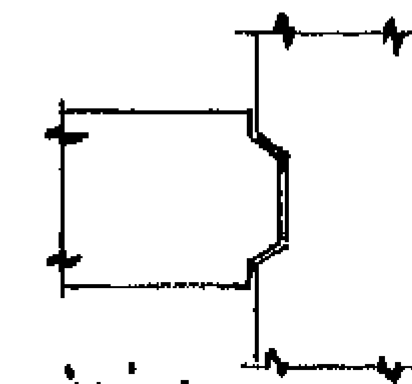
ماسورة صلب مدفونة

وصلة ضغط

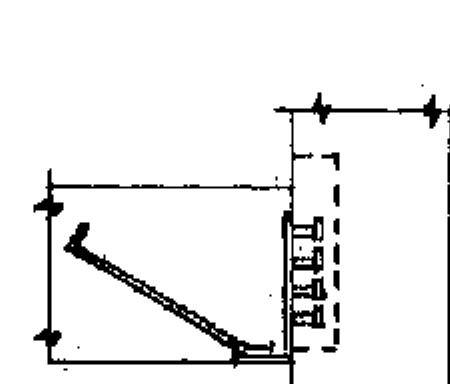
شكل ١٣٧



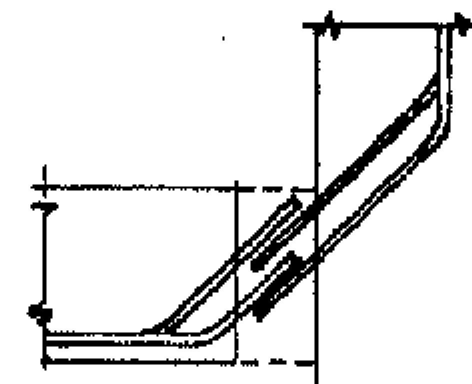
سابوك



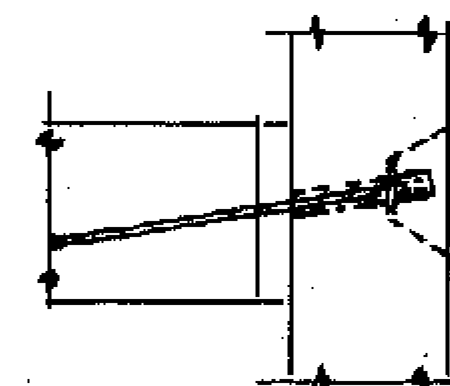
بروز خرسانى



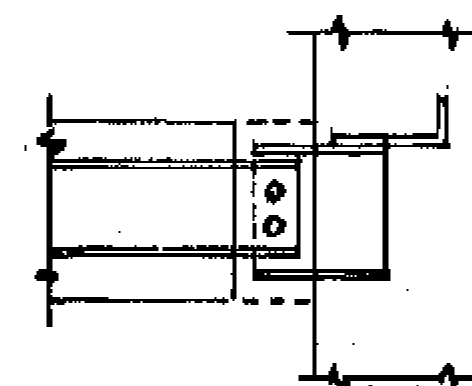
بروزات معدنية



بروز التسليح



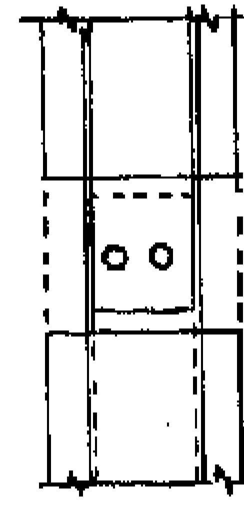
اجهاد لاحق



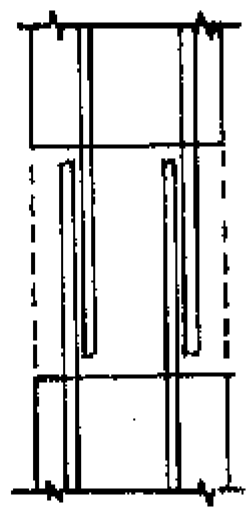
أشكال صلب مدفونة

وصلة قص

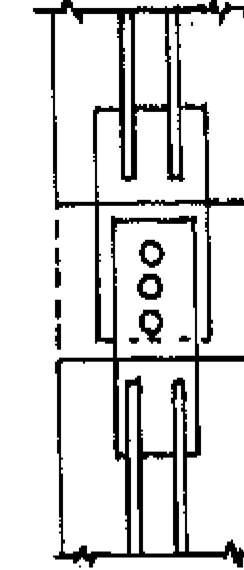
شكل ١٣٦



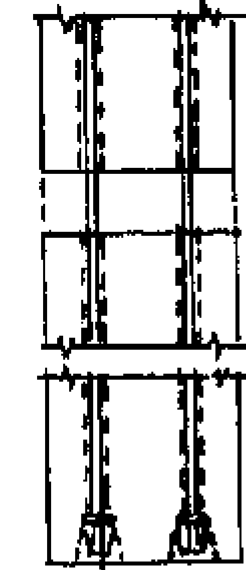
قطع حديد إنشائى مدفونة



ركوب التسليح



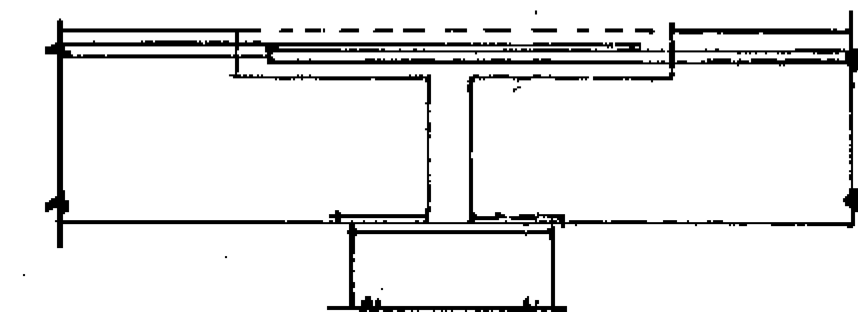
استعمال ألواح وصلات



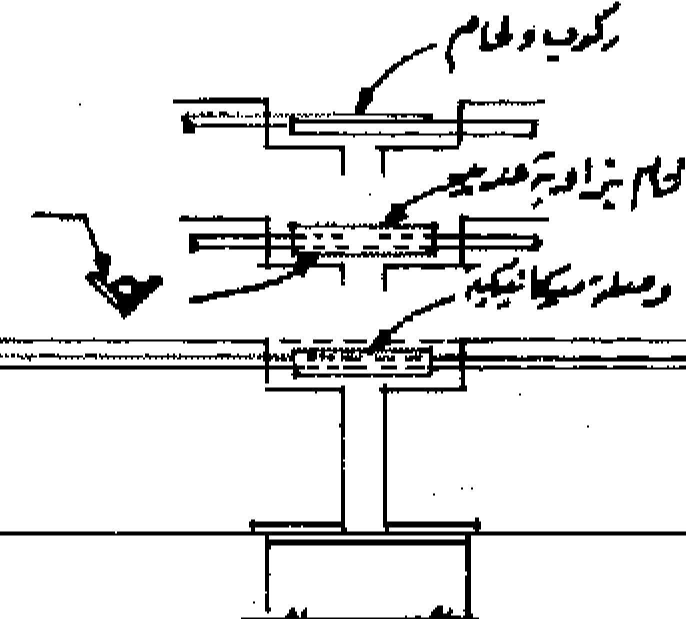
قوة اجهاد لاحق

وصلة شد

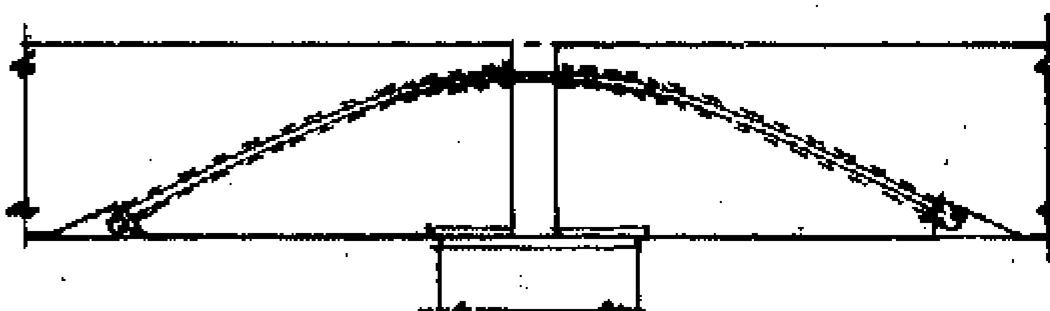
شكل ١٣٨



ركوب التسليح



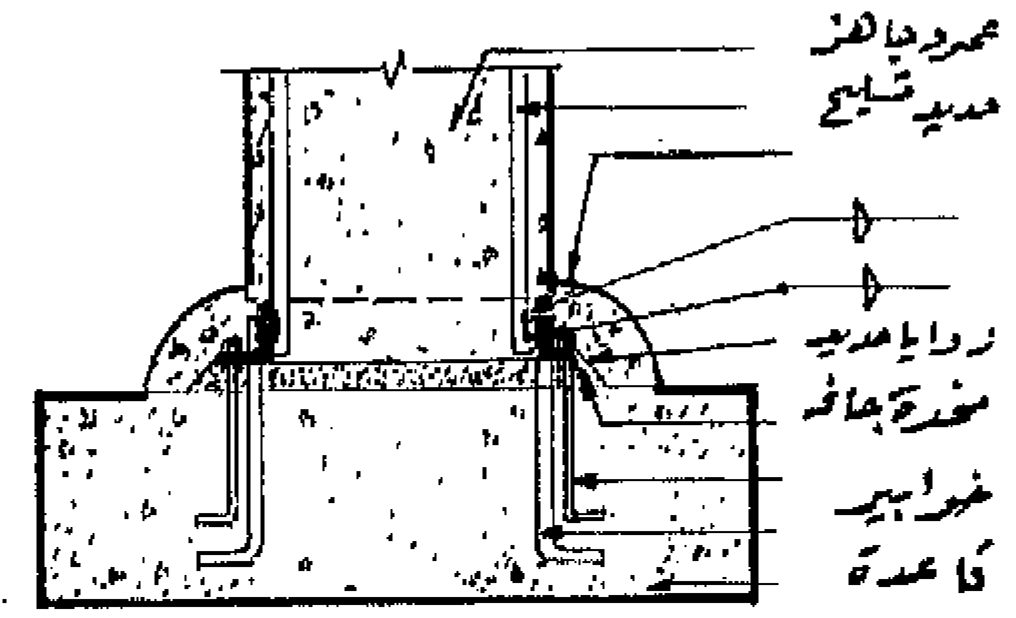
اتصال التسليح

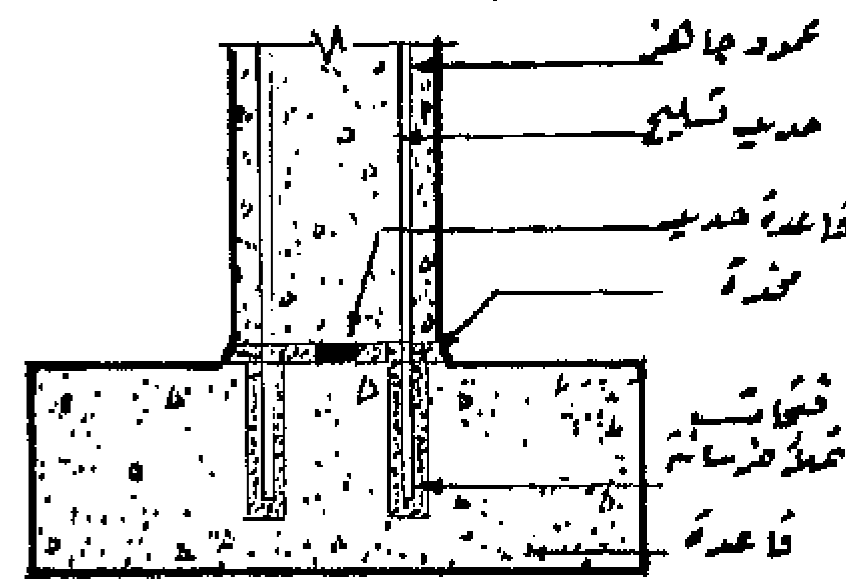


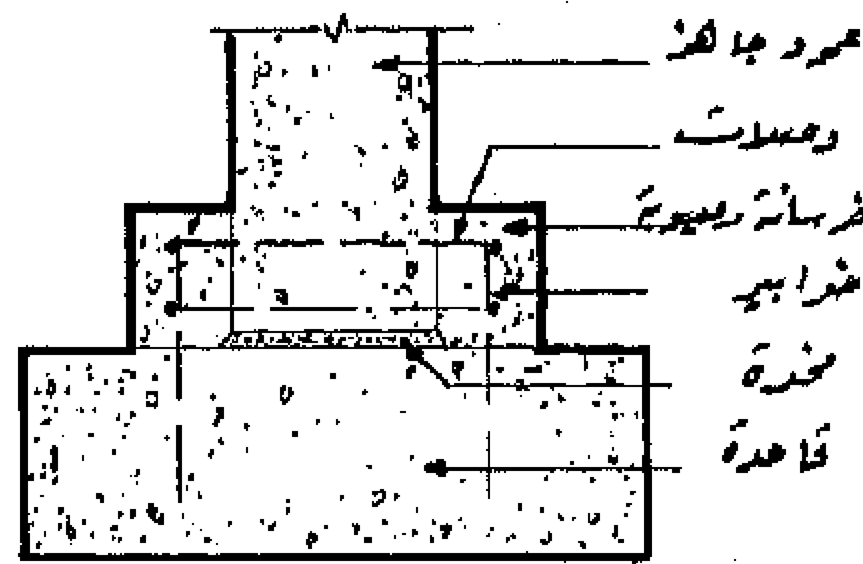
اجهاد لاحق

وصلة عزم انحناء

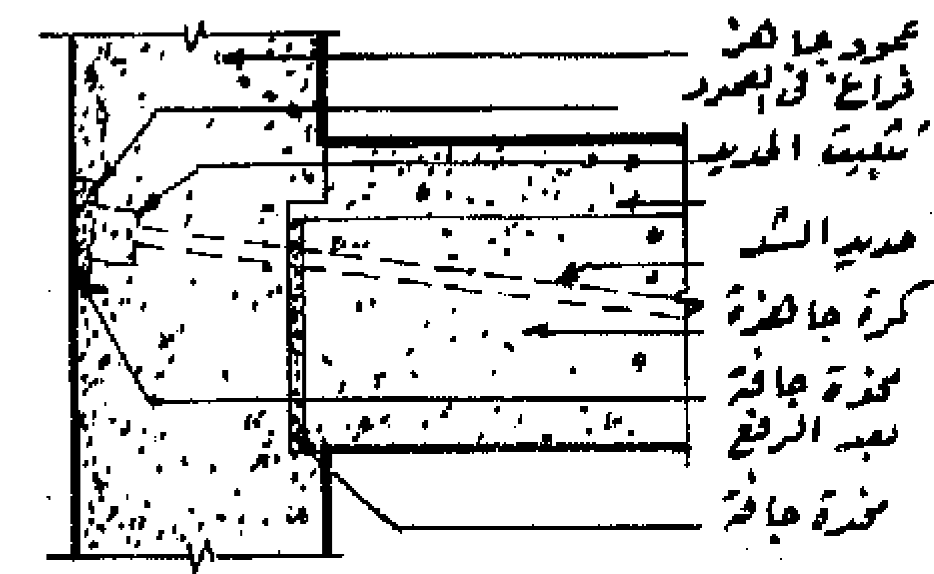
شكل ١٣٩

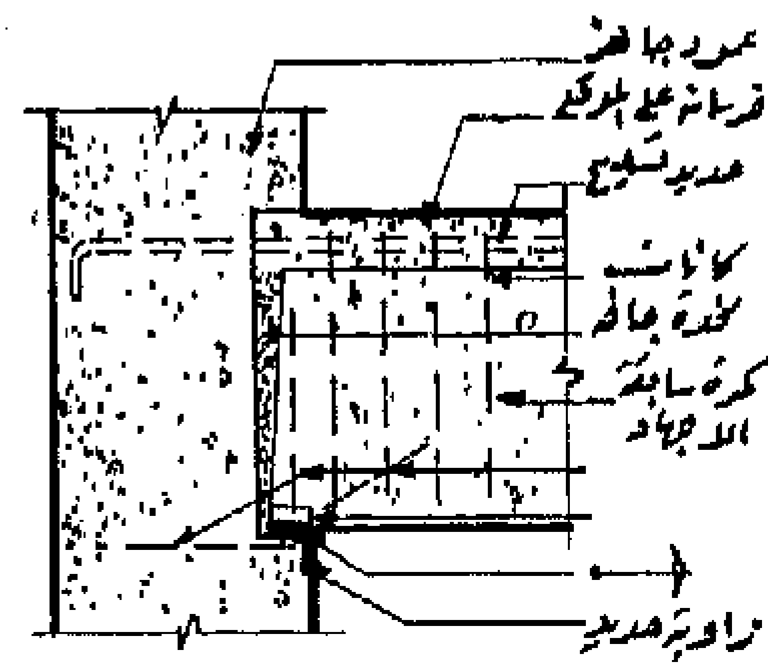


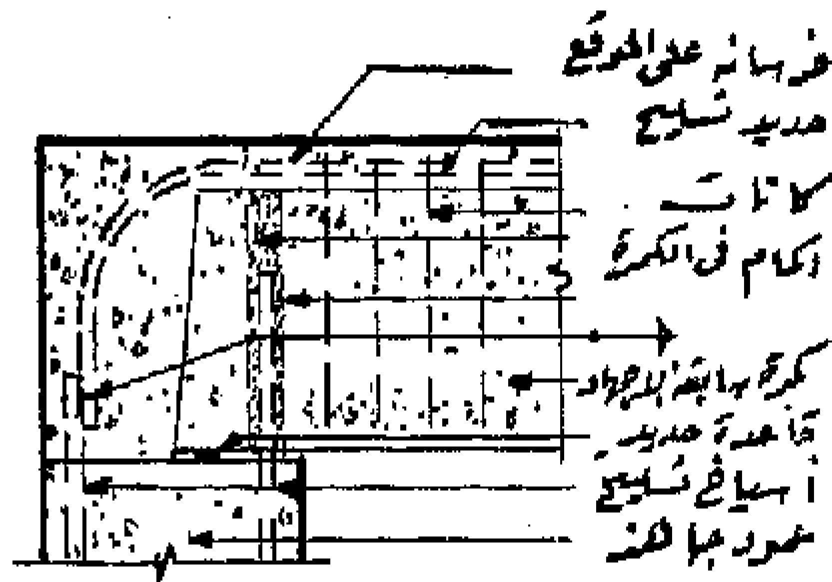




شكل ١٤٠





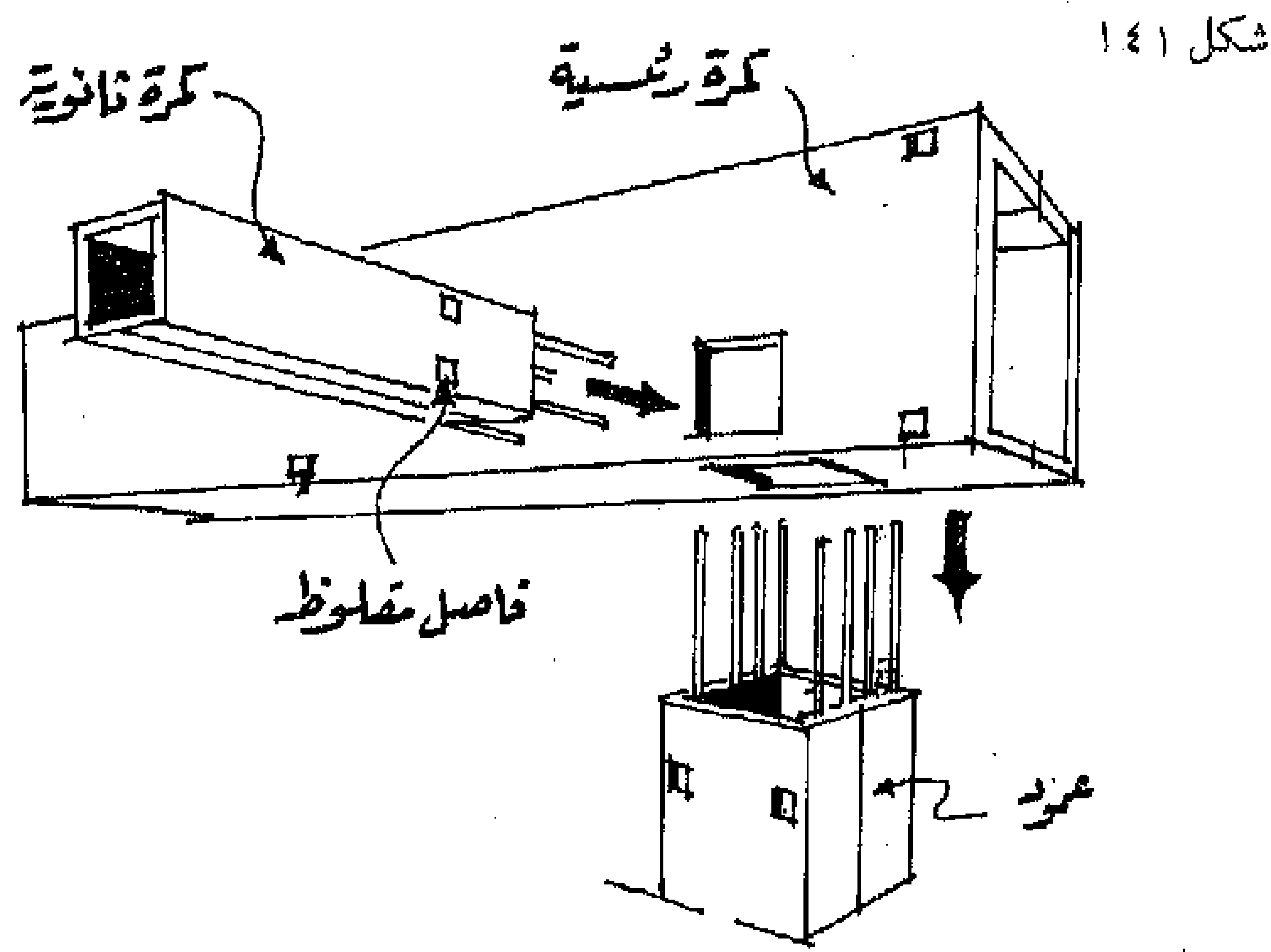


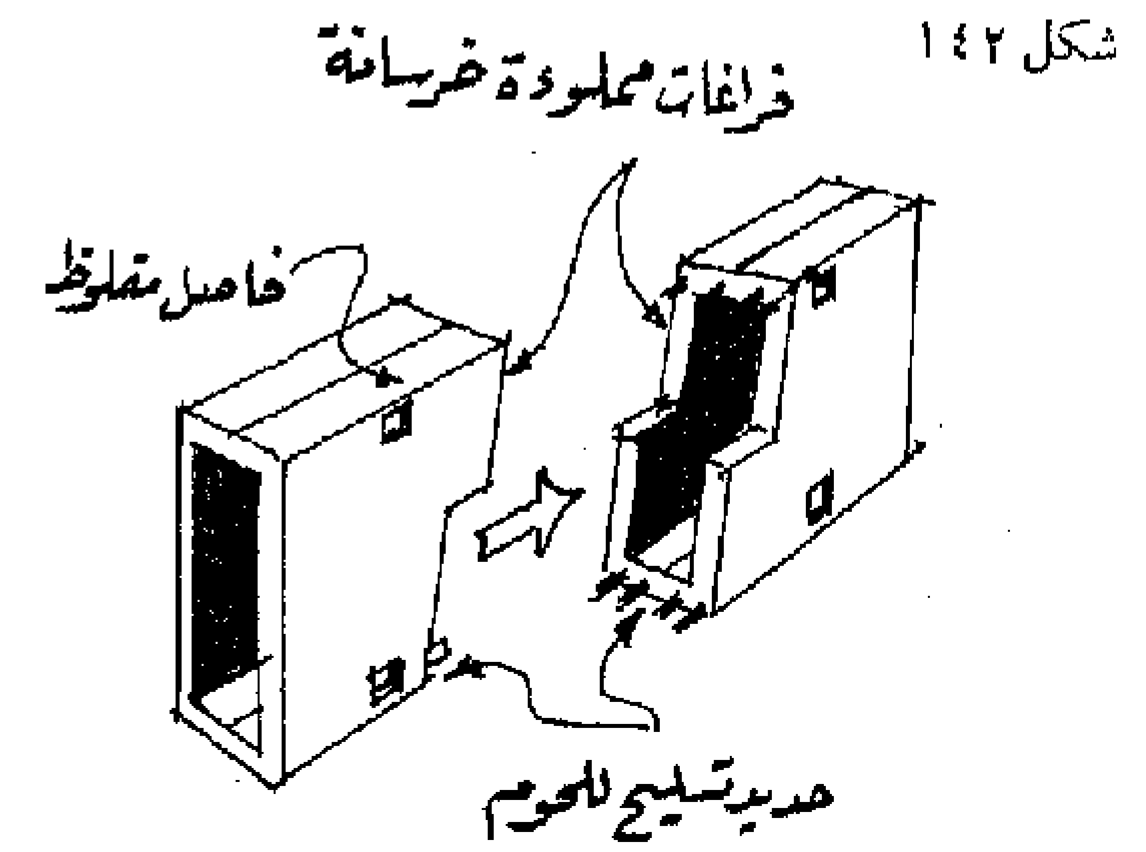
سبق التجهيز — الوصلات

(شكل ١٣٥) وصلة معرضة لإجهادات انضغاط.
(شكل ١٣٦) وصلة معرضة لإجهادات شد.
(شكل ١٣٧) وصلة معرضة لعزوم قص.
(شكل ١٣٨) وصلة معرضة لعزوم انحناء.

سبق التجهيز — الوصلات

(شكل ١٣٩) احتمالات مختلفة لوصلة عمود بالأساس.
(شكل ١٤٠) احتمالات مختلفة لتحميل كمرة على عمود.





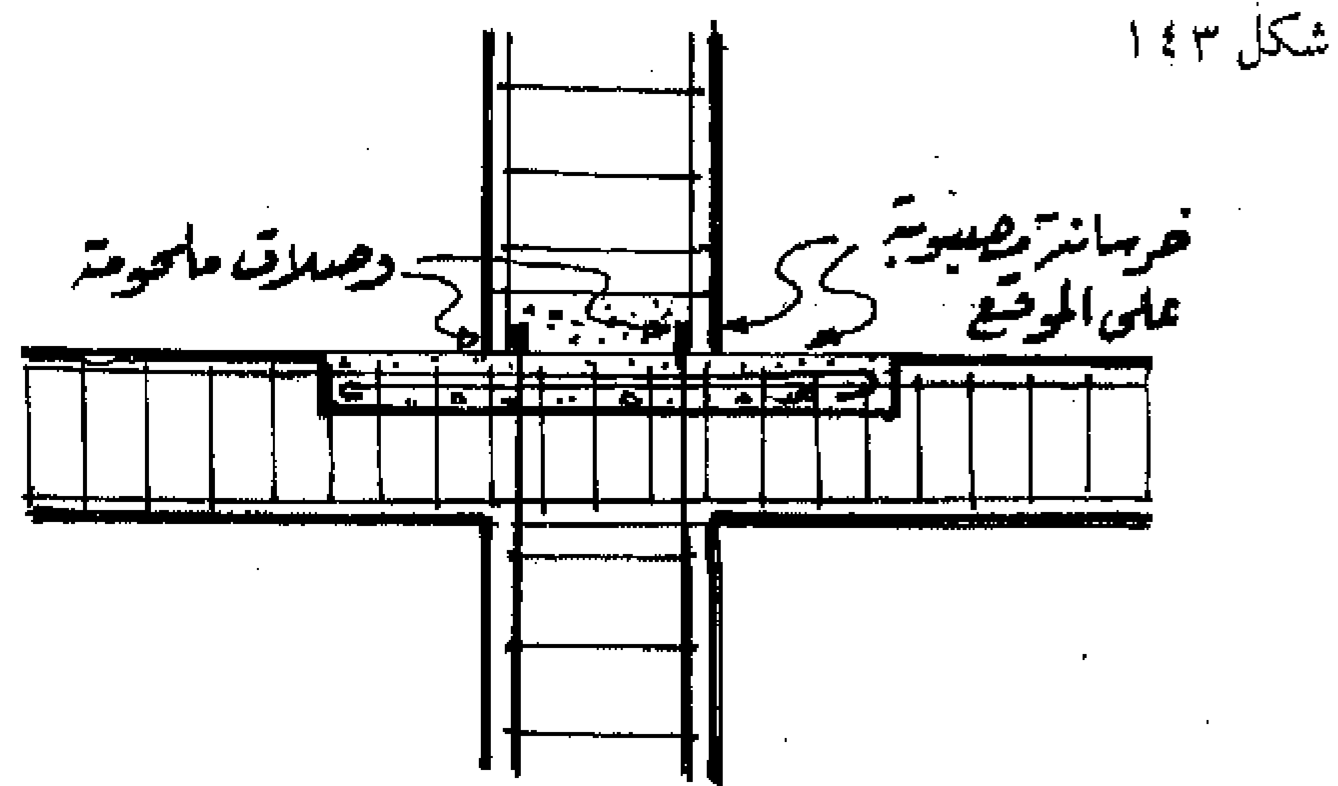
سبق التجهيز – الوصلات

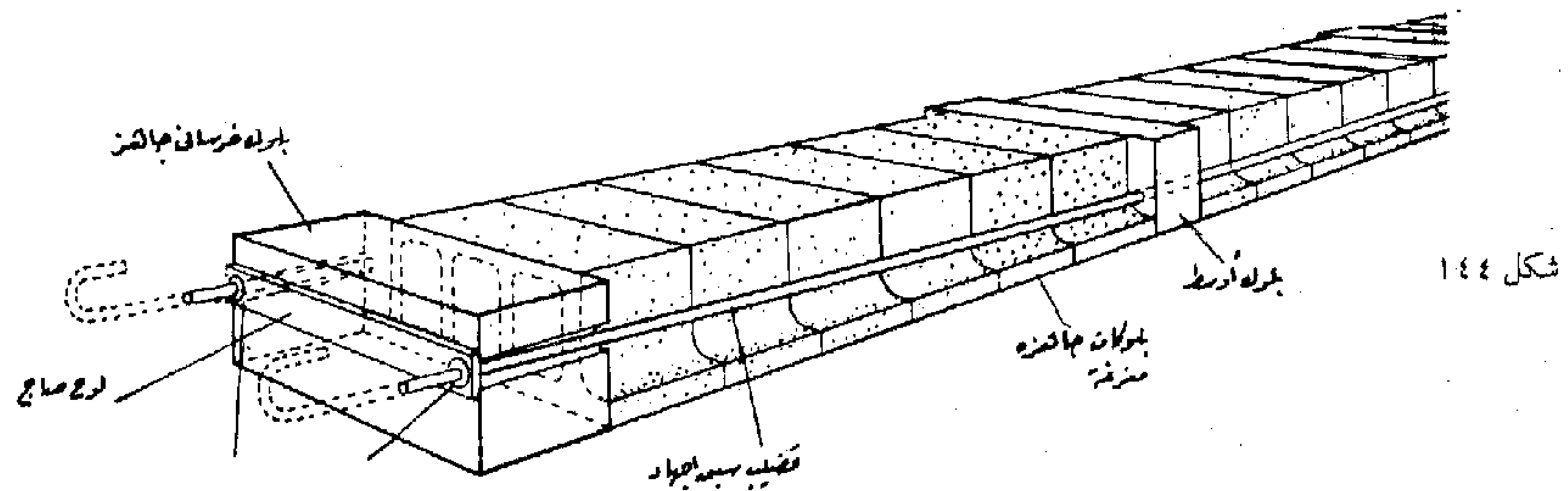
(شكل ١٤١) أعمدة وكمرات مجوفة فى مخزن البحرية بمدينة ميكانيكسبرج ببنسلفانيا.

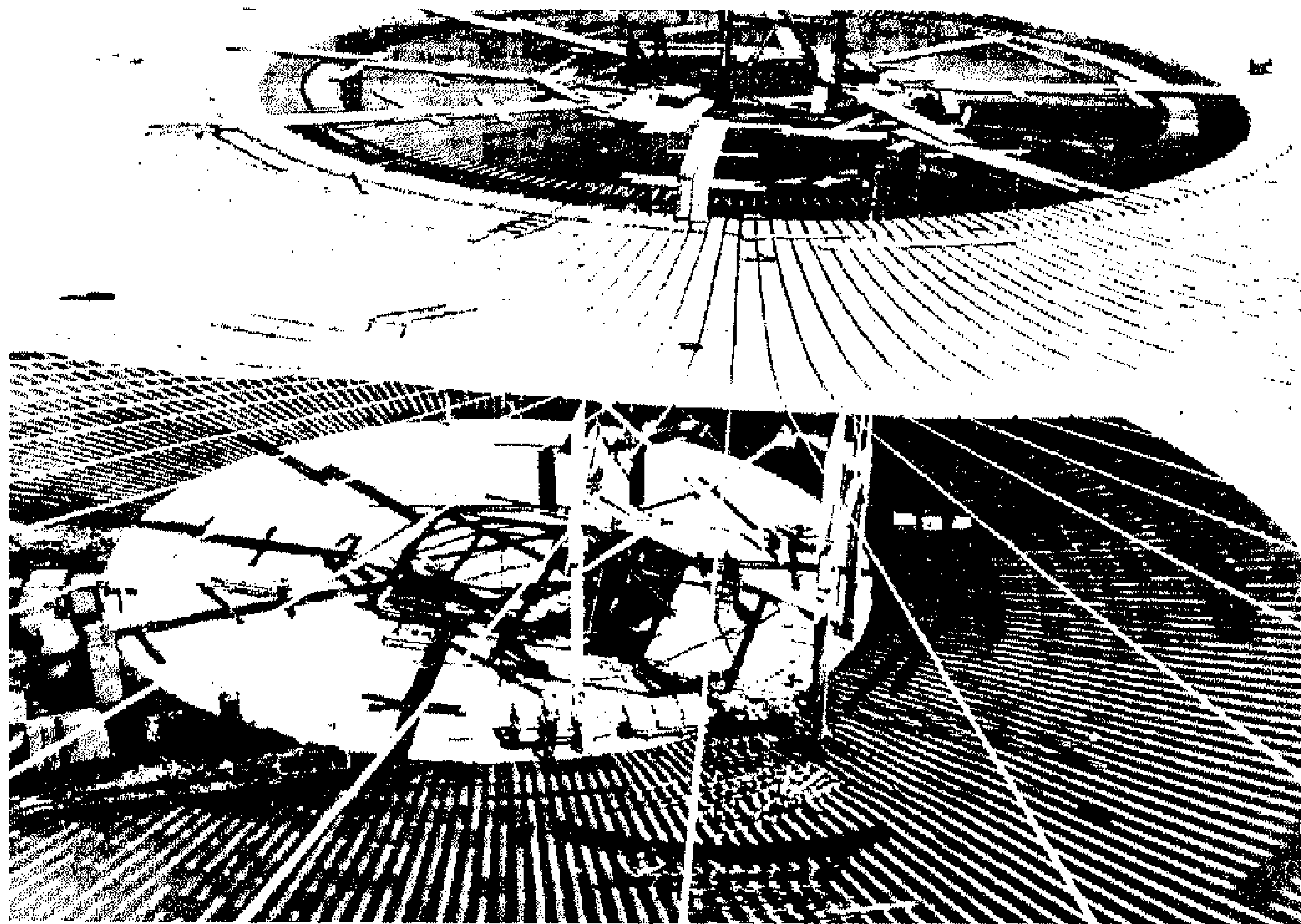
(شكل ١٤٢) وحدات جاهزة بوصلات مصبوبة على الموقع فى نقط أقل إجهادات بكمرات مخزن البحرية السابق.

(شكل ١٤٣) الوصلة فى محطة نهائية للأوتوبيسات بكندا – بروز التسليح من كل وحدة إلى الأخرى وصب الوصلة مع لحام التسليح.

(شكل ١٤٤) كمرة من بلوكات جاهزة باستعمال الإجهاد اللاحق – المهندس الإنشائى ل . كوف .







شكل ١٤٥

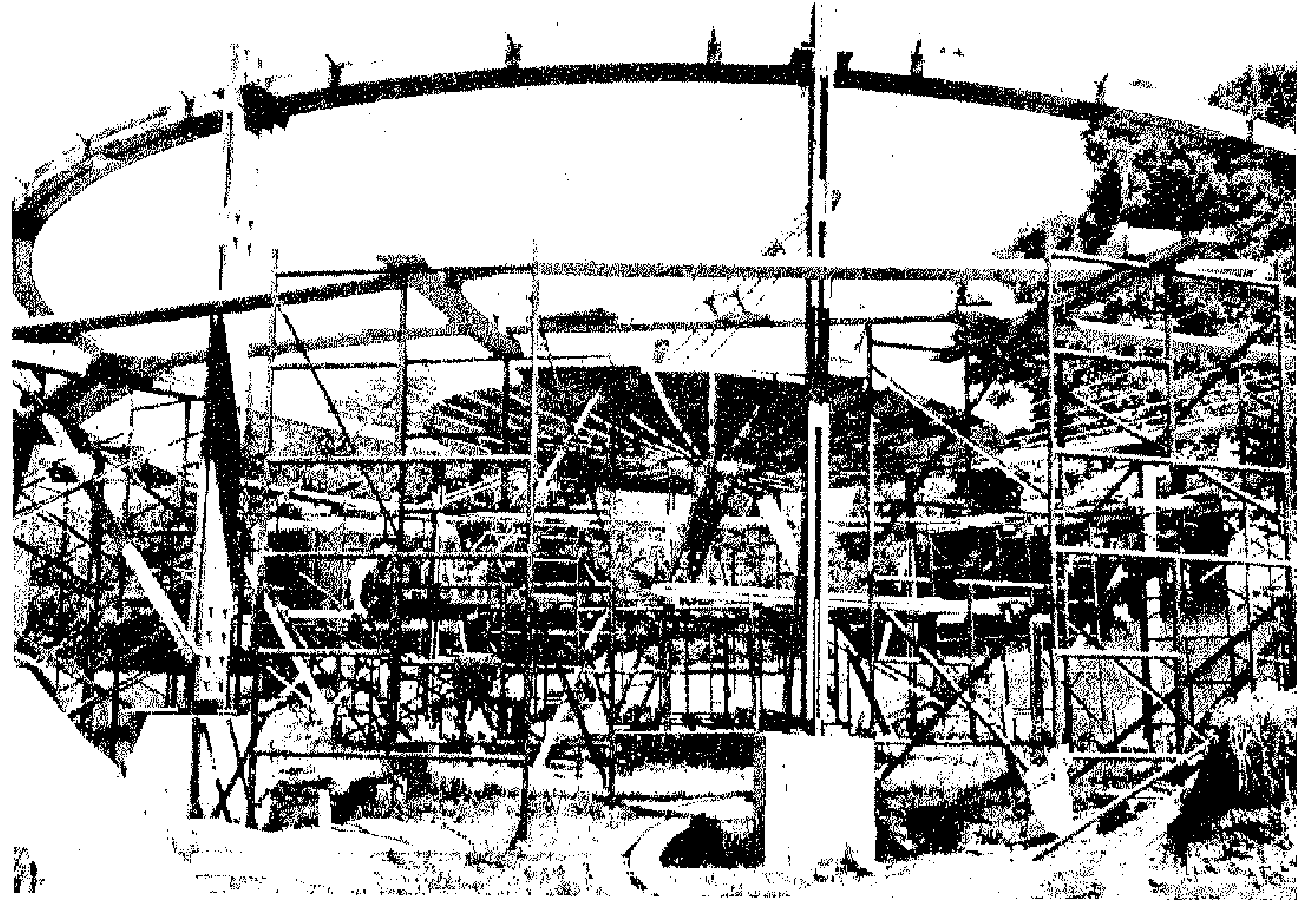
سبق التجهيز – وصلات بالإجهاد اللاحق

(شكل ١٤٥) إستاد للمعرض الصناعى فى مونتڤيديو بأوروجواى .

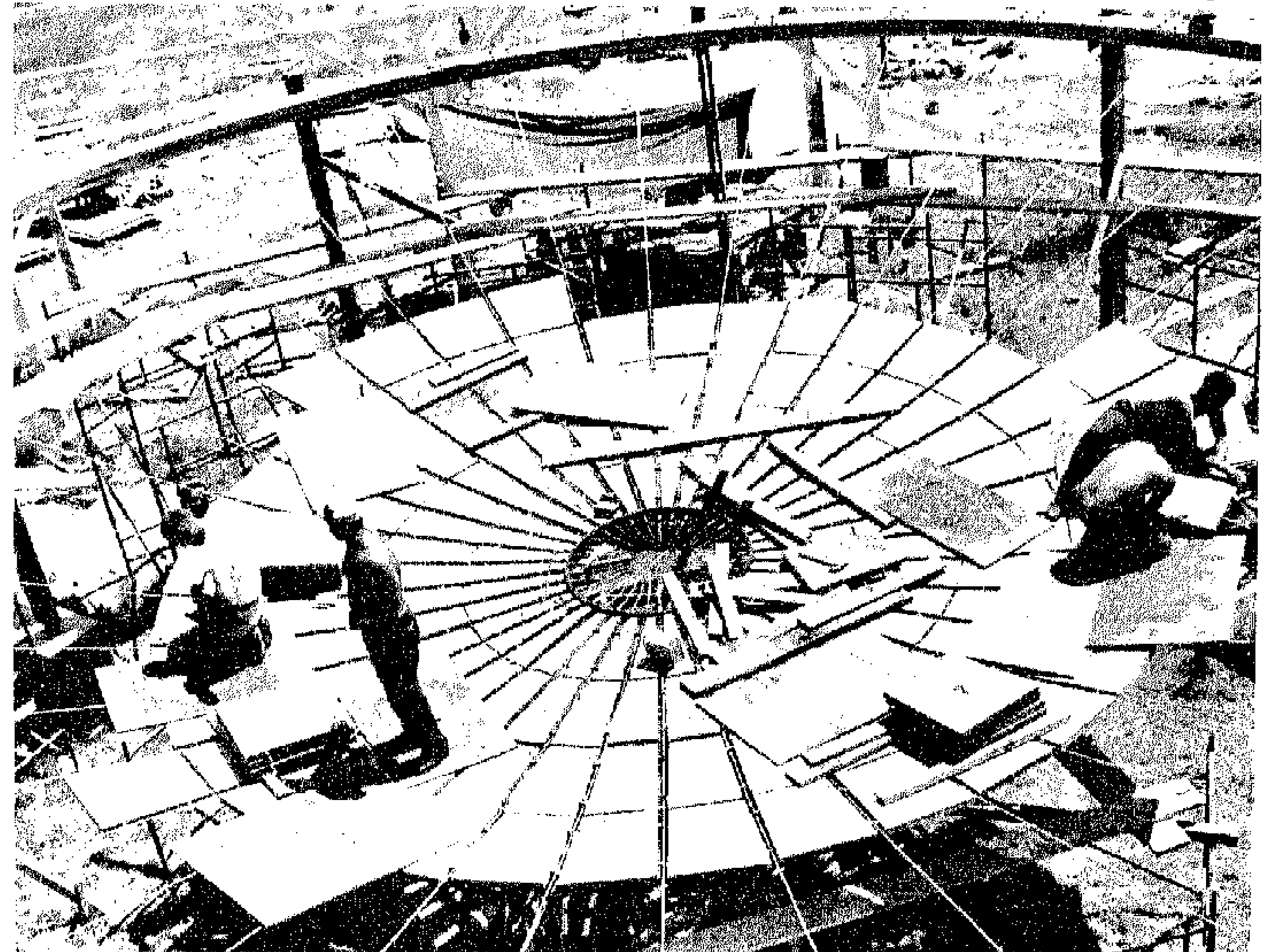
(شكل ١٤٦) الإجهاد اللاحق بحمل إضافى يعادل ٥٠٪ من الطوب .

شكل ١٤٦

شكل ١٤٧



شكل ١٤٨



الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع

(شكل ١٤٩) بلوكات خرسانية جاهزة مدفونة فى خرسانة مصبوبة على موقع السقف الكروى لقصر الرياضة الصغير بروما – المهندس بيير لويجى نيرفى .

(شكل ١٥٠) مبنى معرض تورينو– تفصيلة للبلاطات الجاهزة المستعملة كصلبات دائمة للخرسانة المصبوبة على الموقع للكمرات والبلاطات.

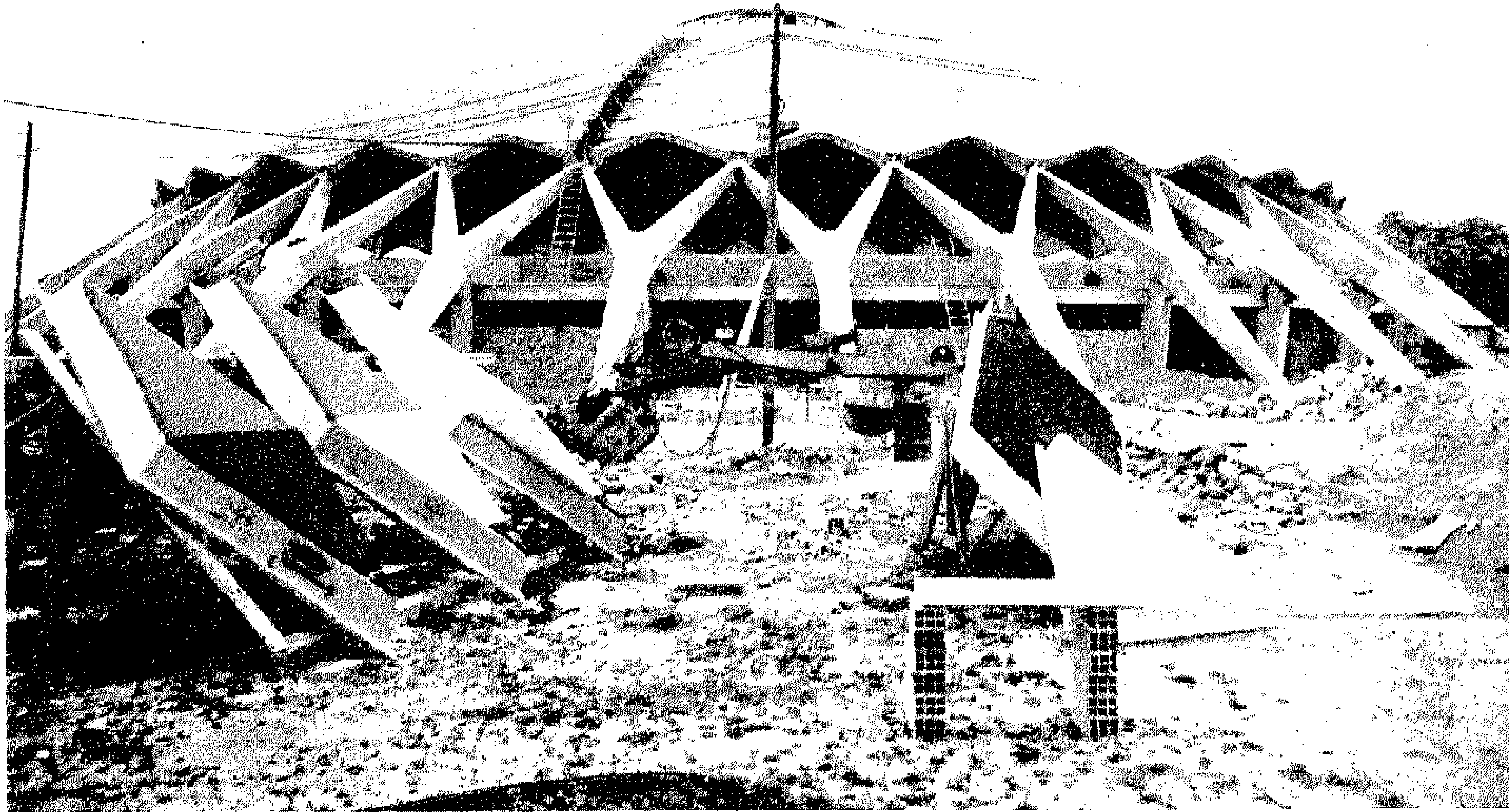
(شكل ١٥١) مطعم الكورسال فى أوستيا بجوار روما سنة ١٩٥٠ – بانوهات جاهزة كصلبات دائمة .

سبق التجهيز – وصلات بالإجهاد اللاحق

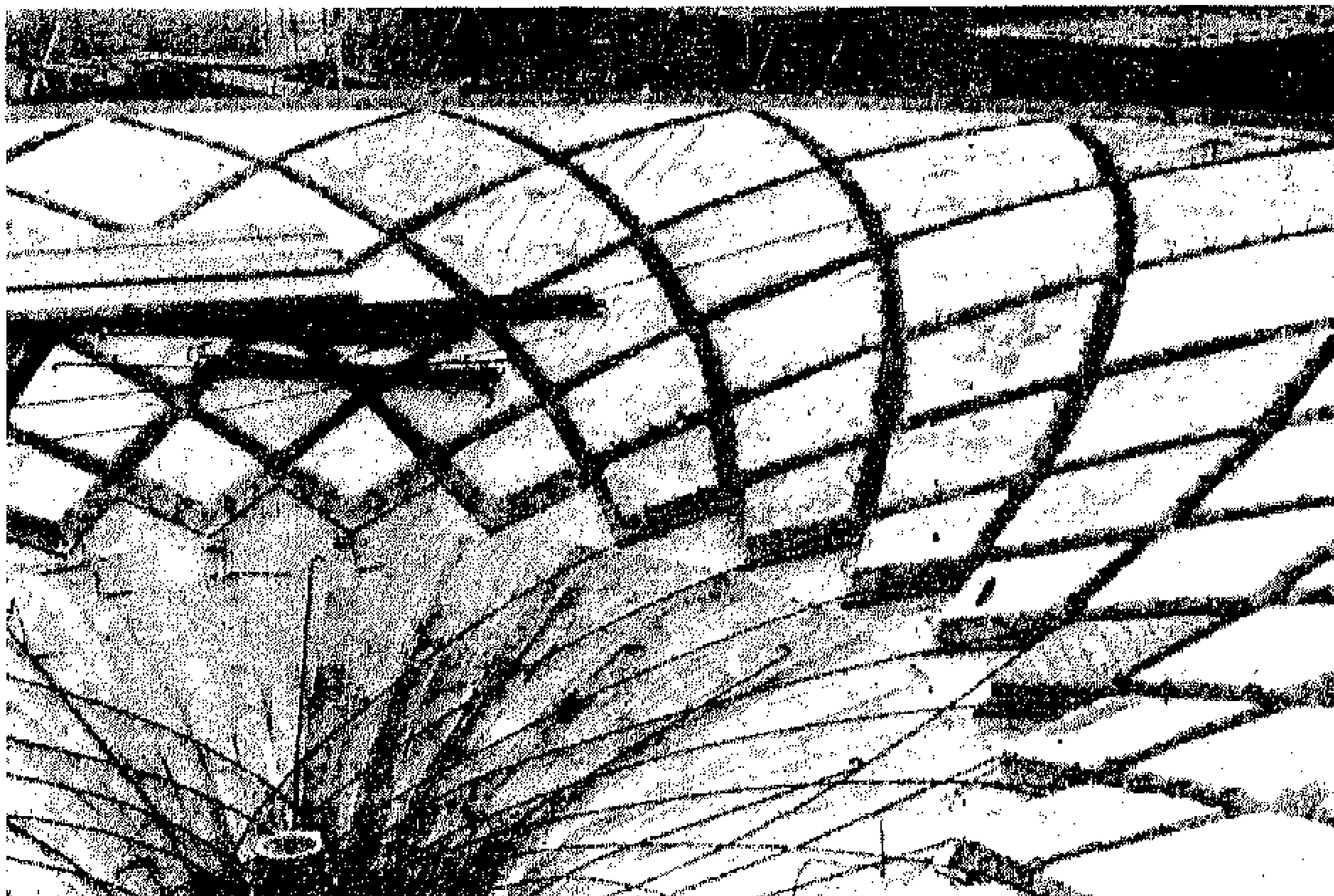
(شكل ١٤٧) مبنى بمعسكر كولومبيا بمدينة ليتشفيلد بولاية كنتكت بقطر ٥٠ قدماً – وضع البلاطات الخرسانية .

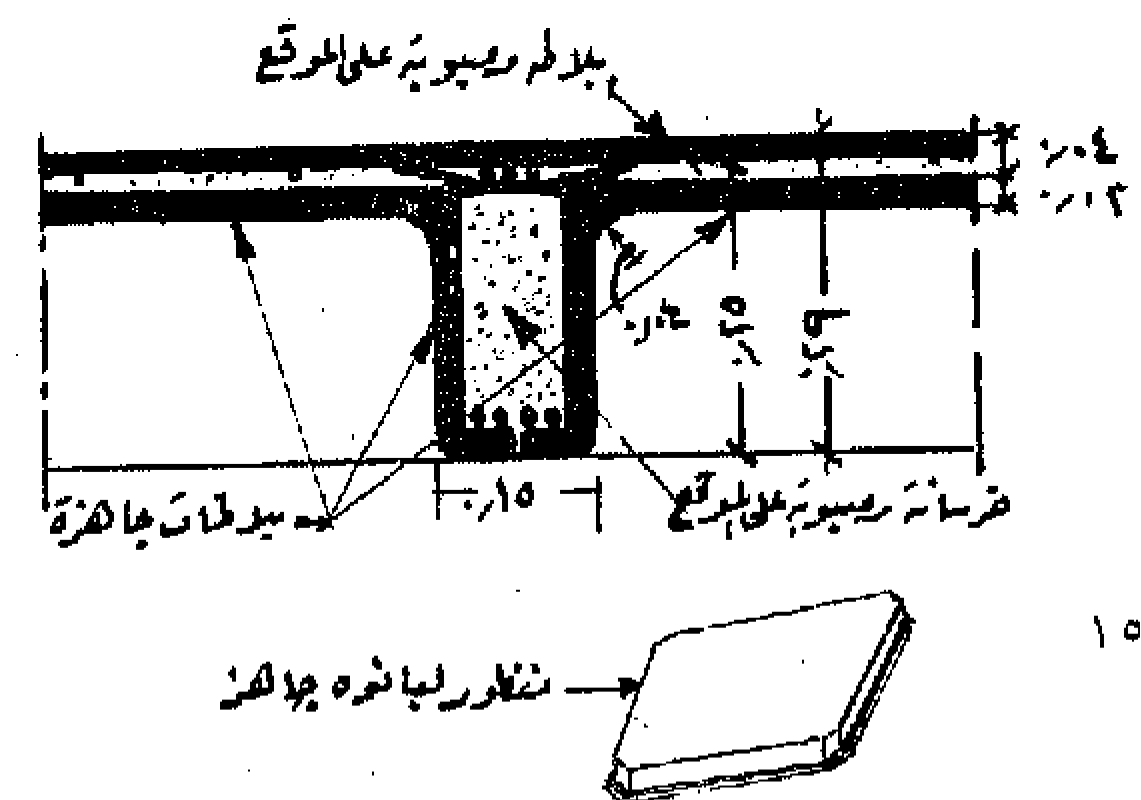
(شكل ١٤٨) منظور علوى يبين الحلقتين الداخلية والخارجية والكابلات المعلقة .

شكل ١٤٩



شكل ١٥١





شكل ١٥٠

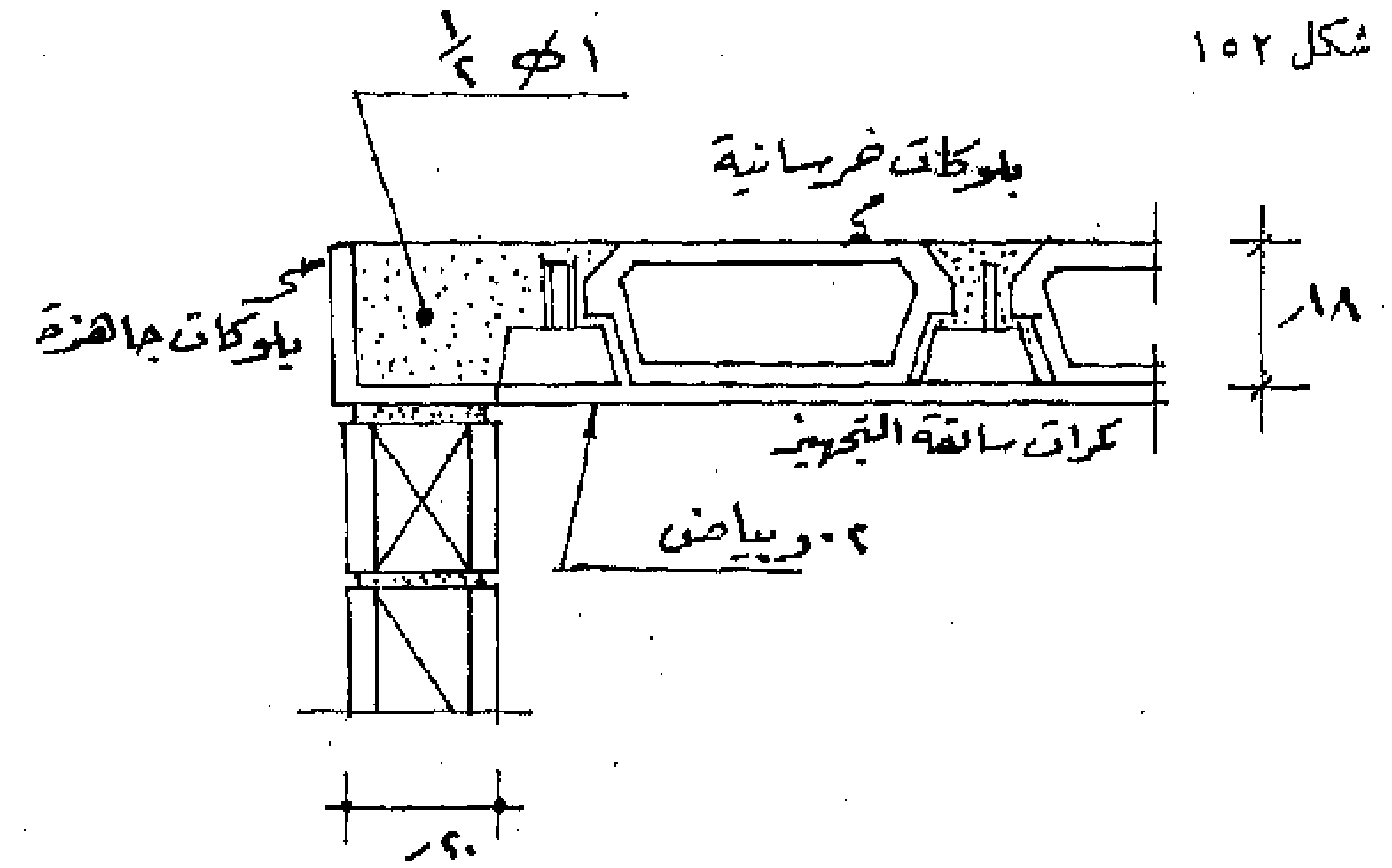
الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع

(شكل ١٥٢) الإنشاء بكمرات جاهزة وبلوكات خرسانية فى المجموعات السكنية بمديرية التحرير (شركة بنفيكا) ١٩٦٦ .

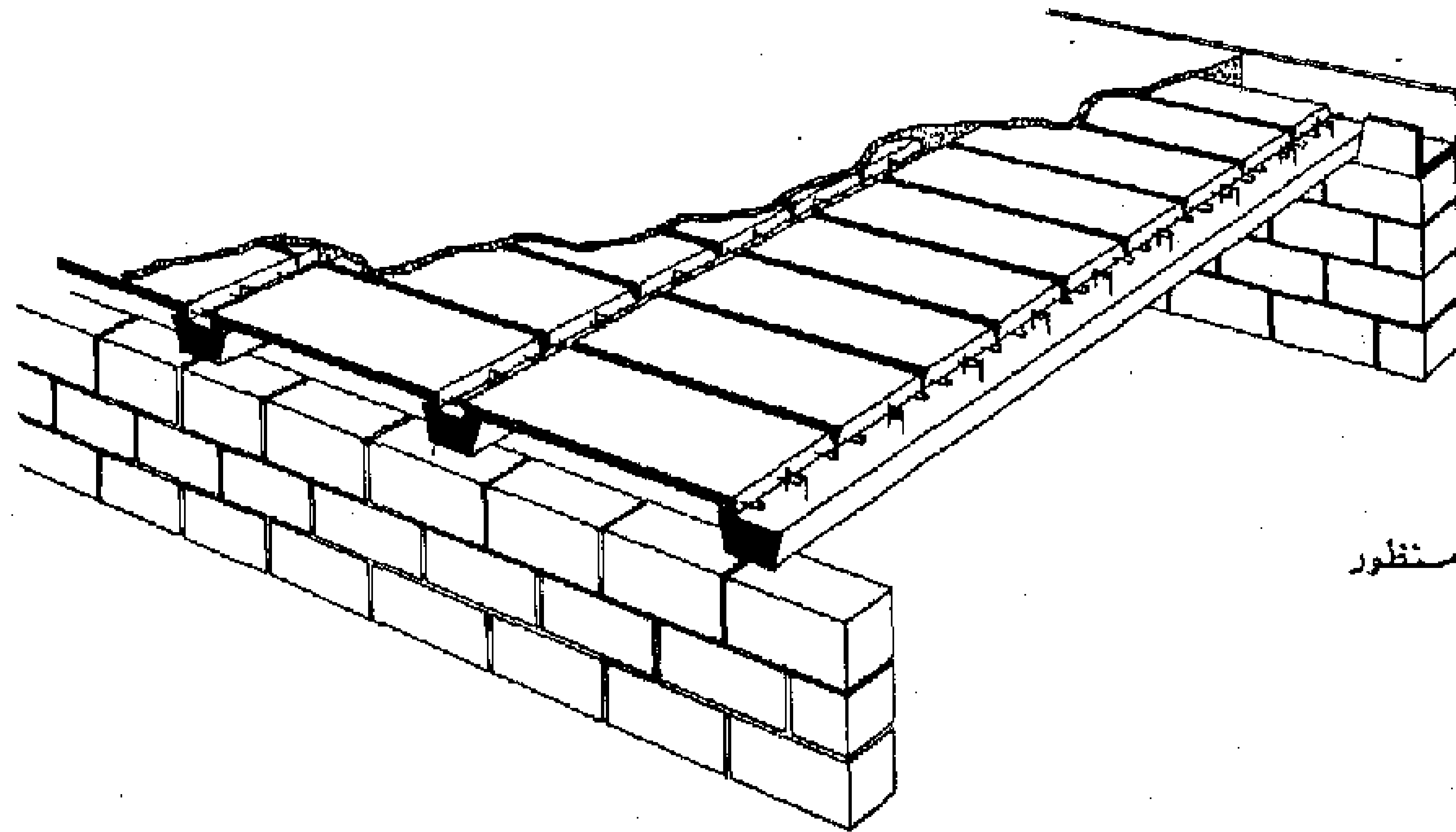
(شكل ١٥٣) إنشاء مقترح لكمرات مركبة وبلاطات .

(شكل ١٥٤) إنشاء مقترح لكمرات مجمعة على الموقع من بلوكات فخارية أو خرسانية .

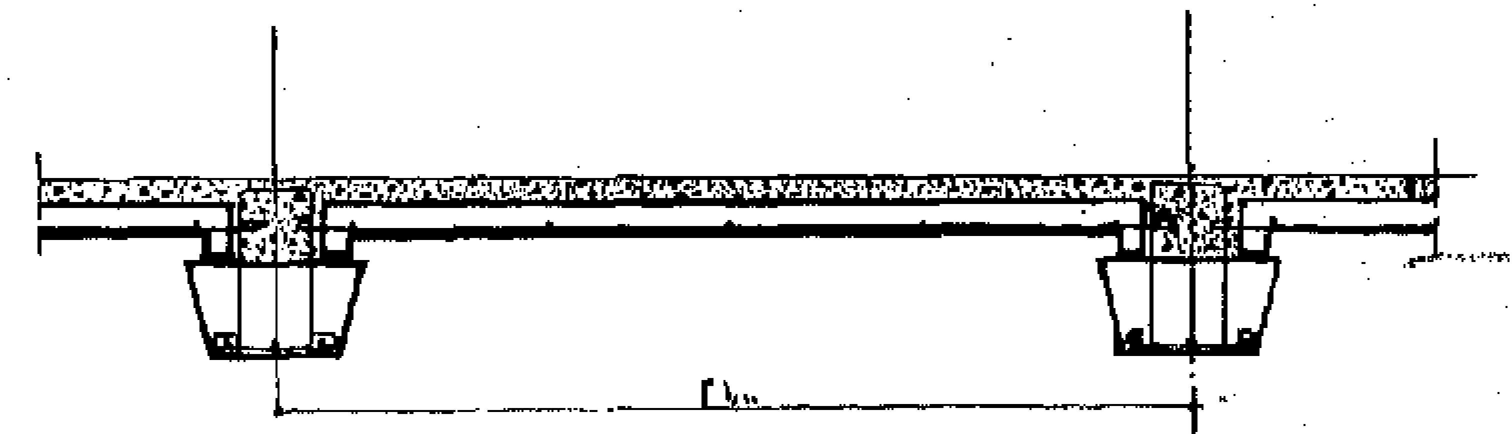
شكل ١٥٢



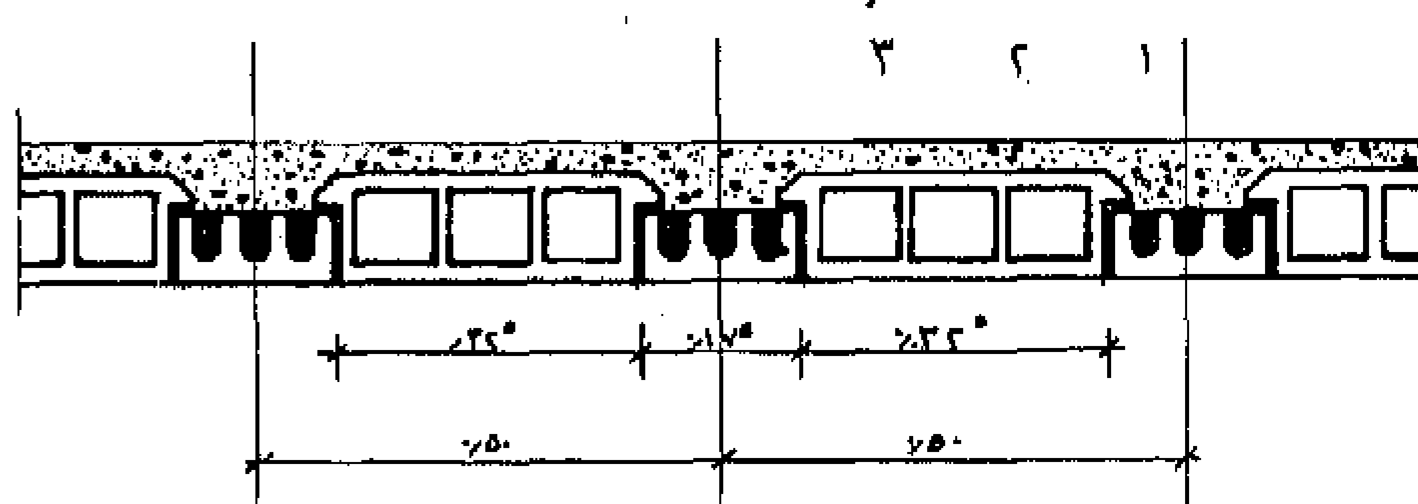
شكل ١٥٣

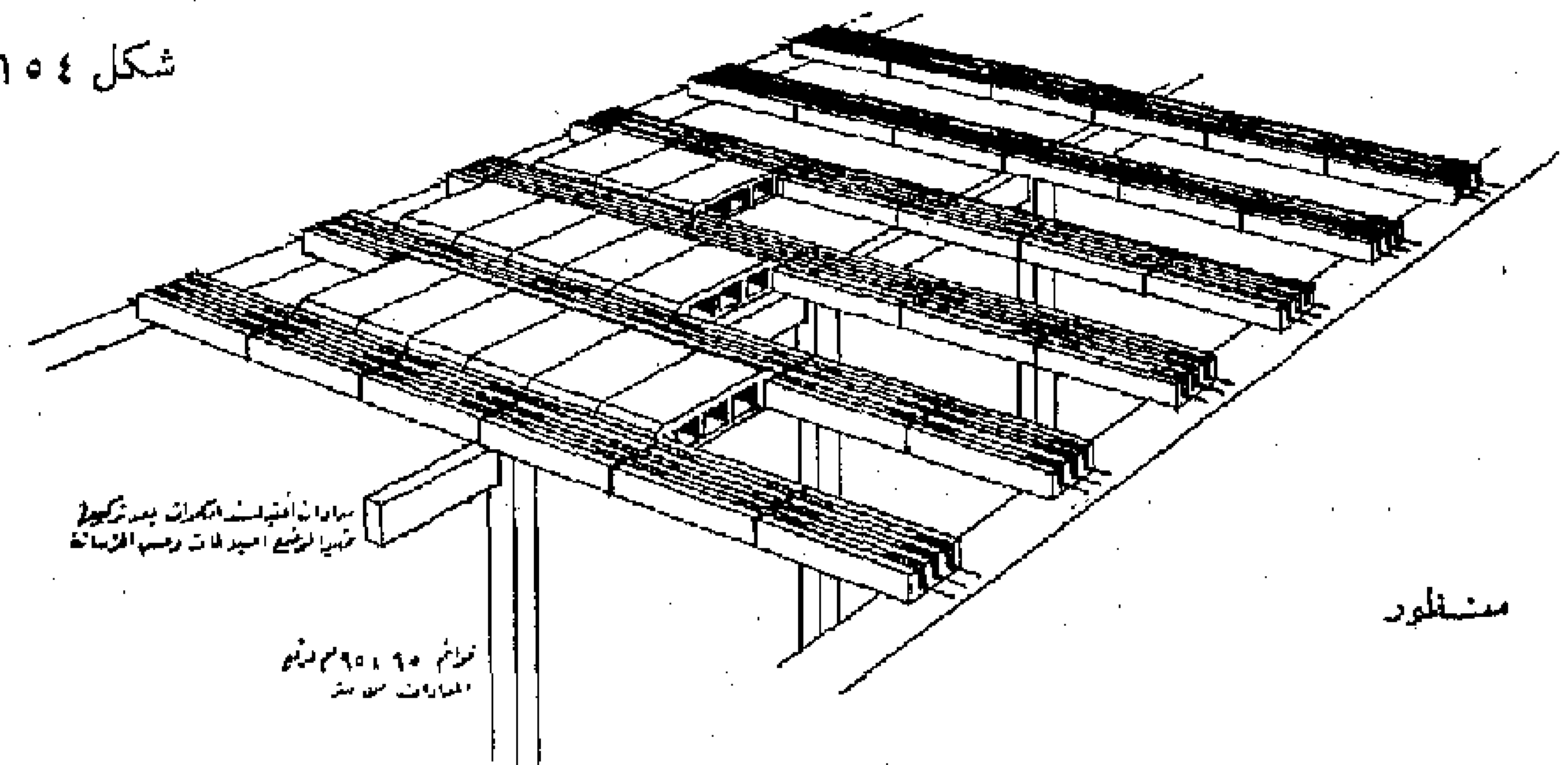


منظور



شكل ١٥٤



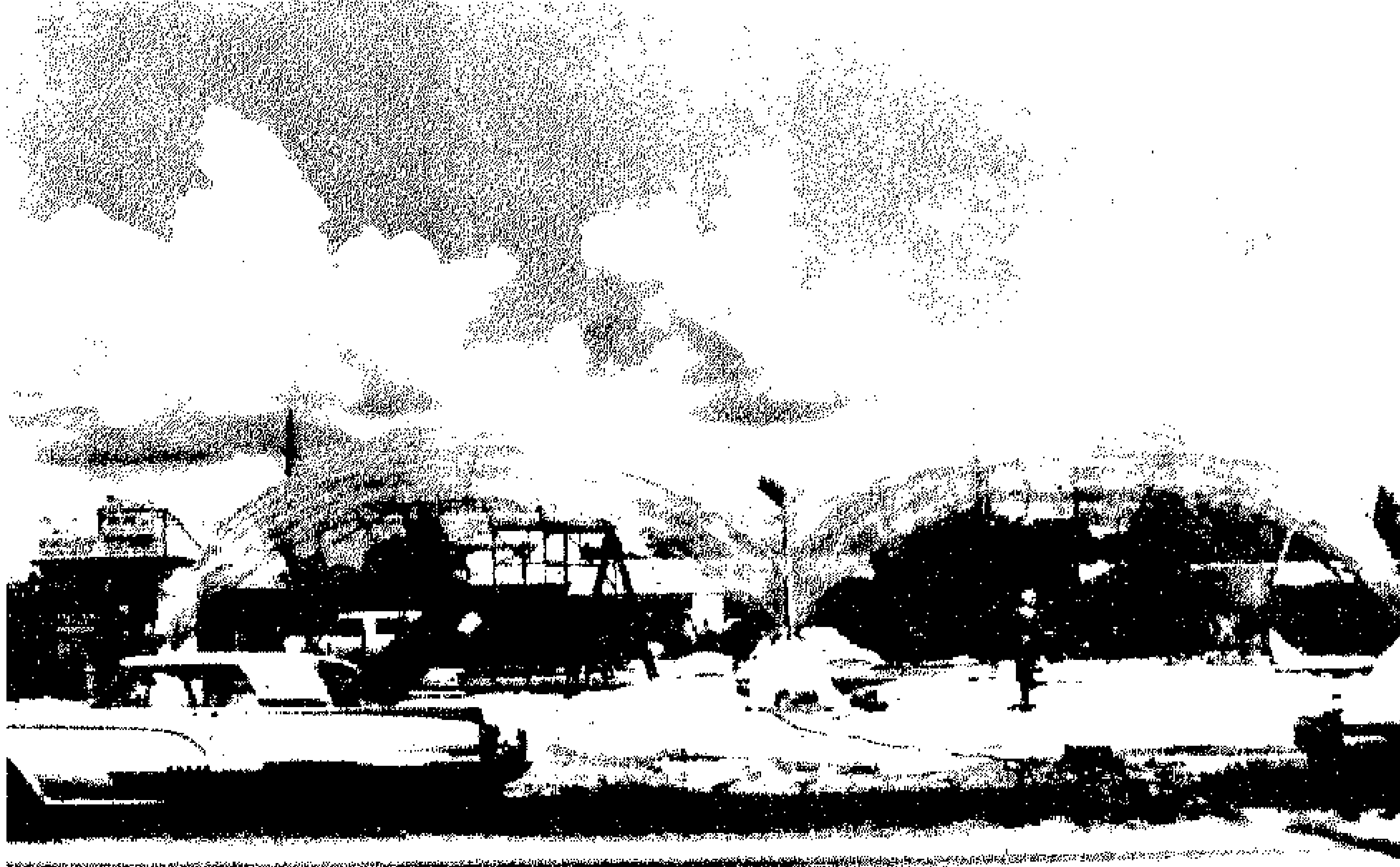


منظور

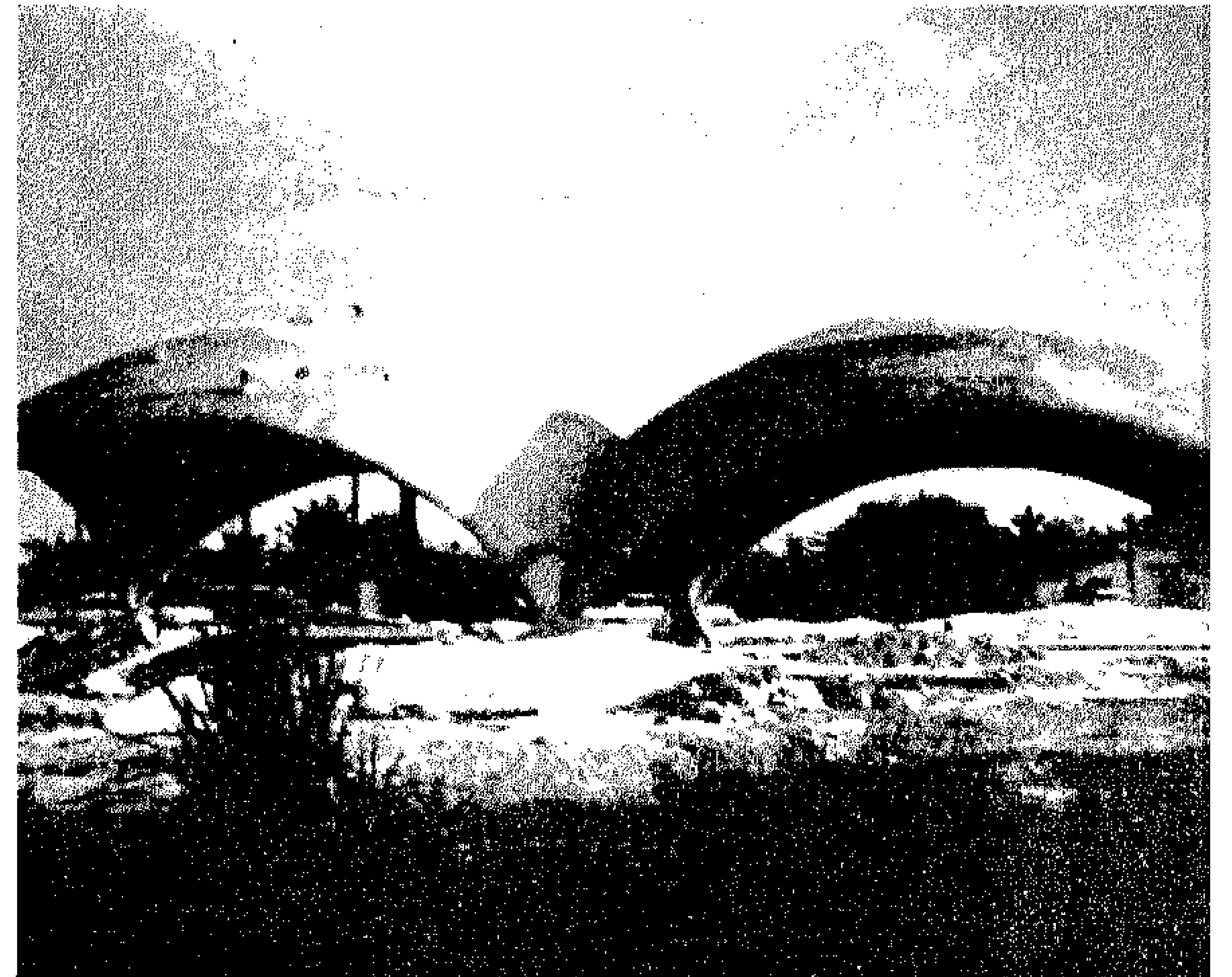
شكل ١٥٥



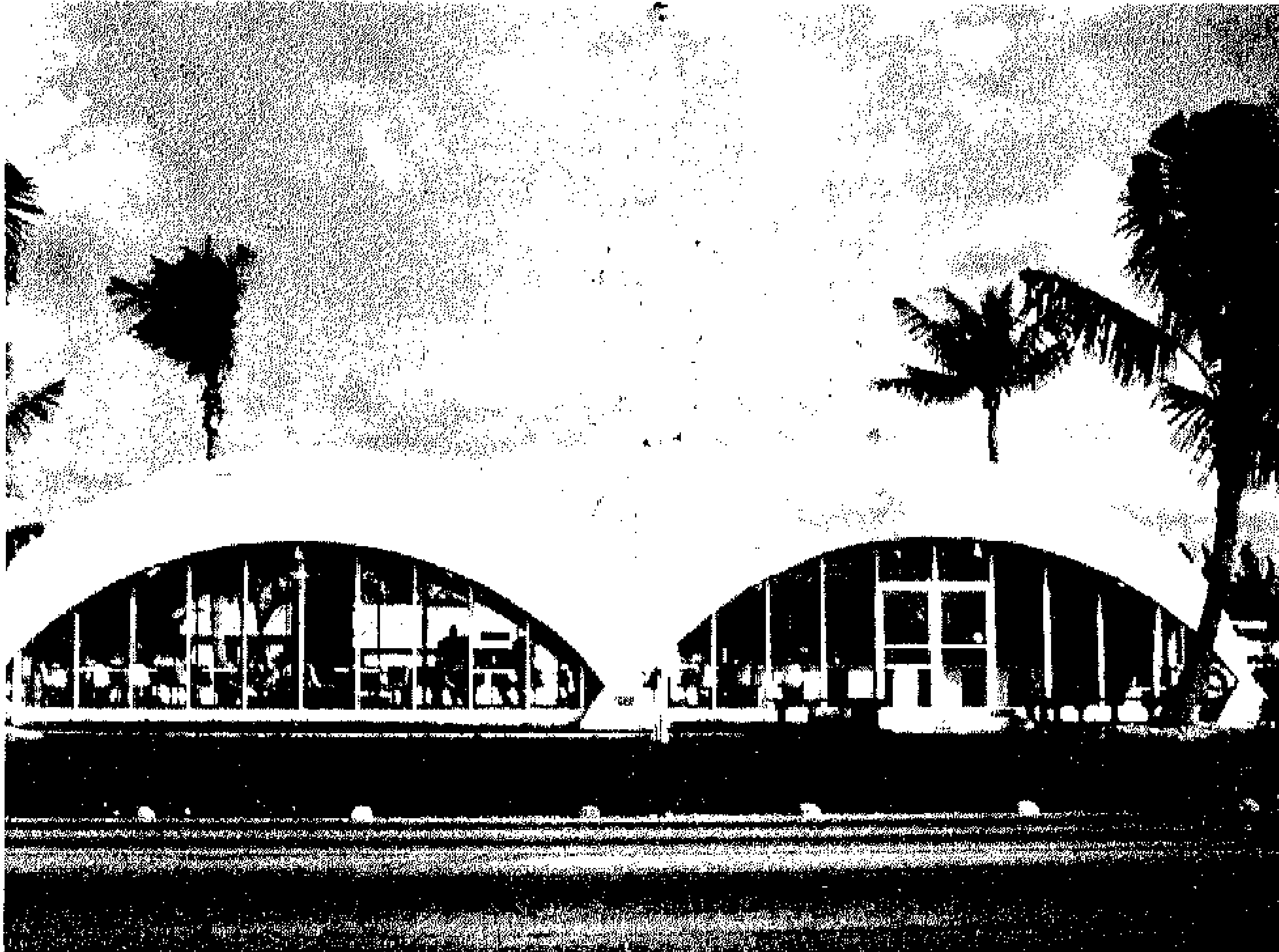
شكل ١٥٦



شكل ١٥٧



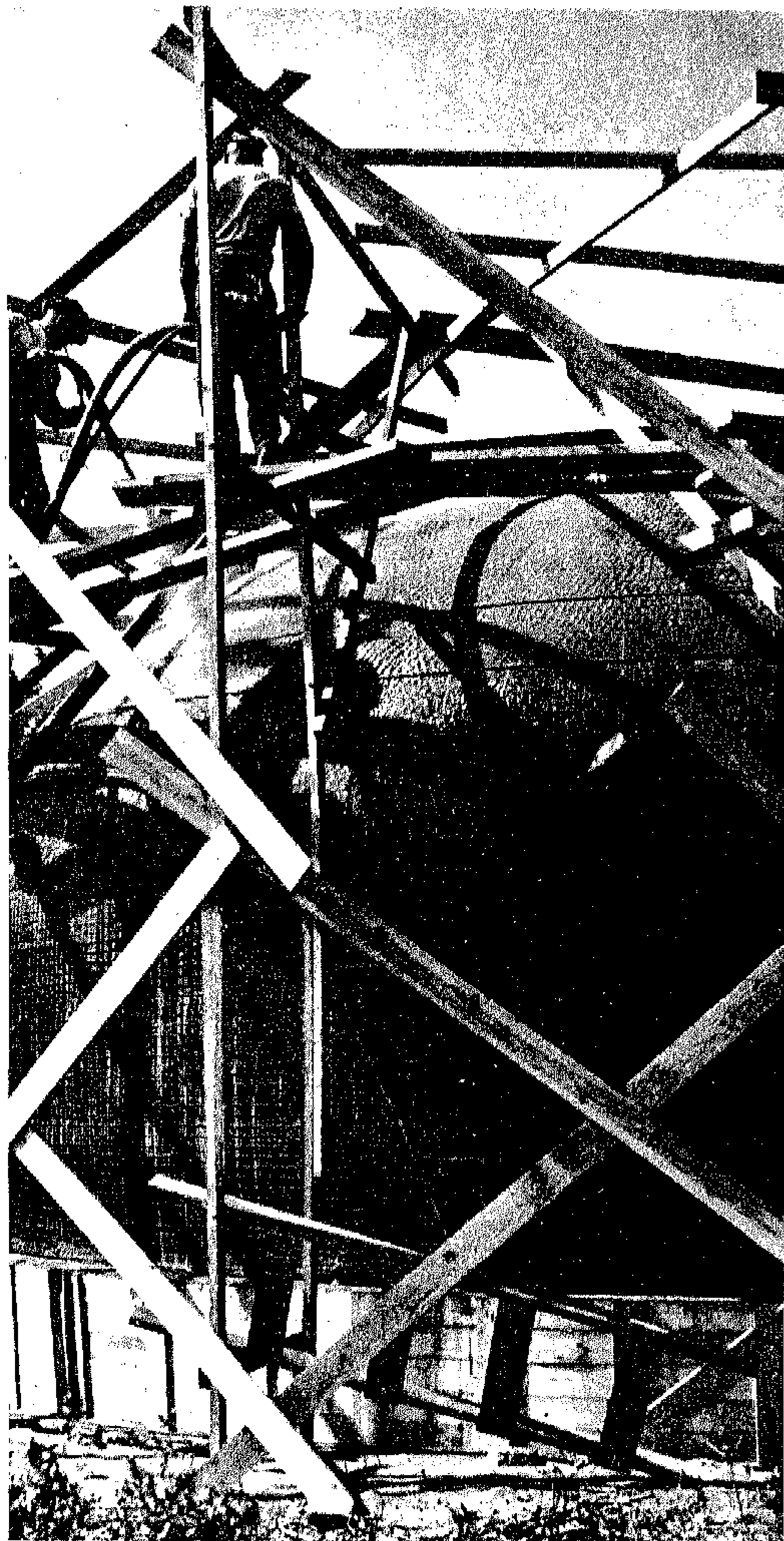
شكل ١٥٨



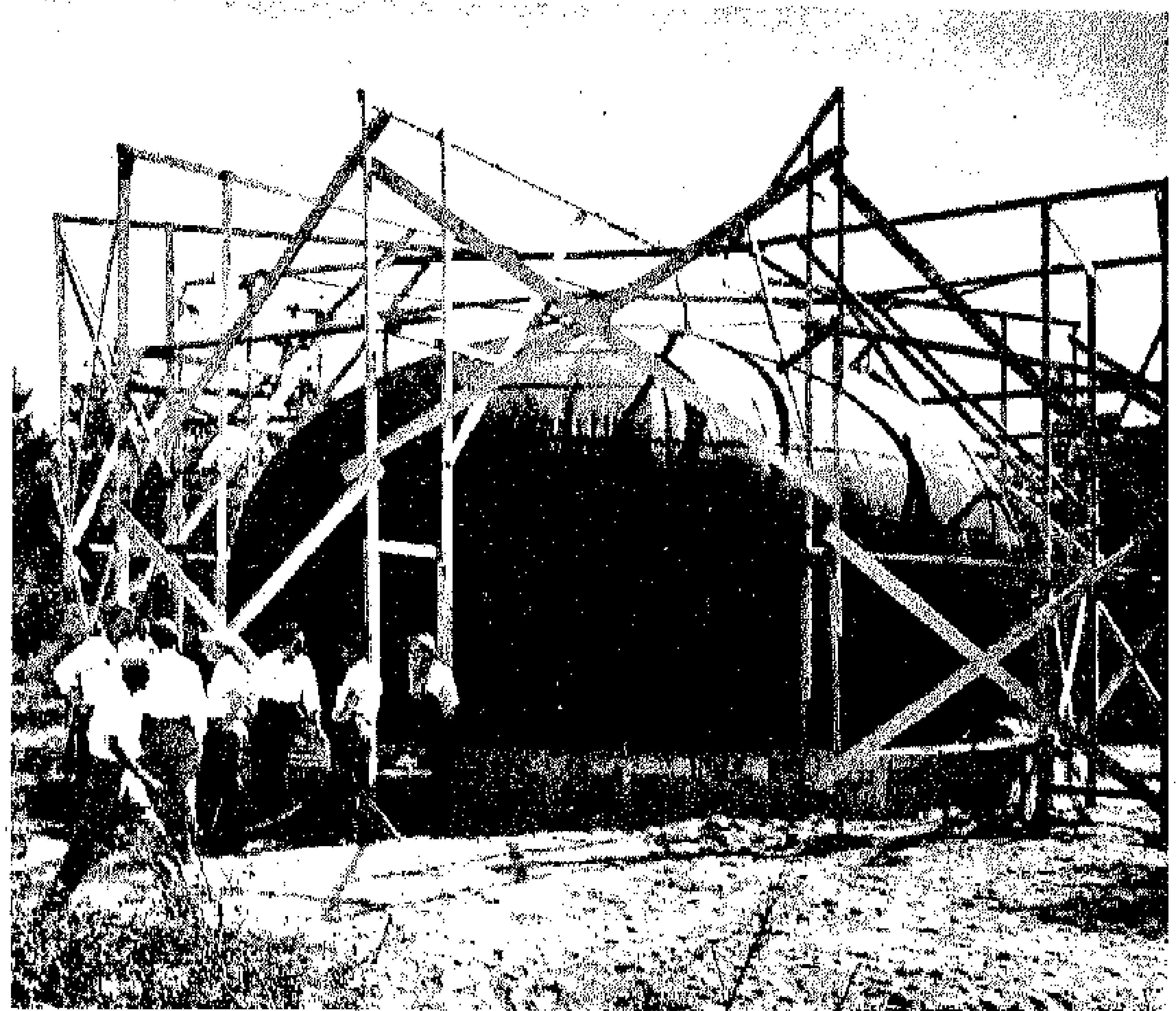
حديد التسليح كصلبات دائمة

(أشكال ١٥٥ – ١٥٨) مراحل طريقة إنشاء الصدفات القشرية حول التسليح الدائم بالشبك الممدد فى أحد مطاعم شركة شفلس فى أمريكا سنة ١٩٦٥ .

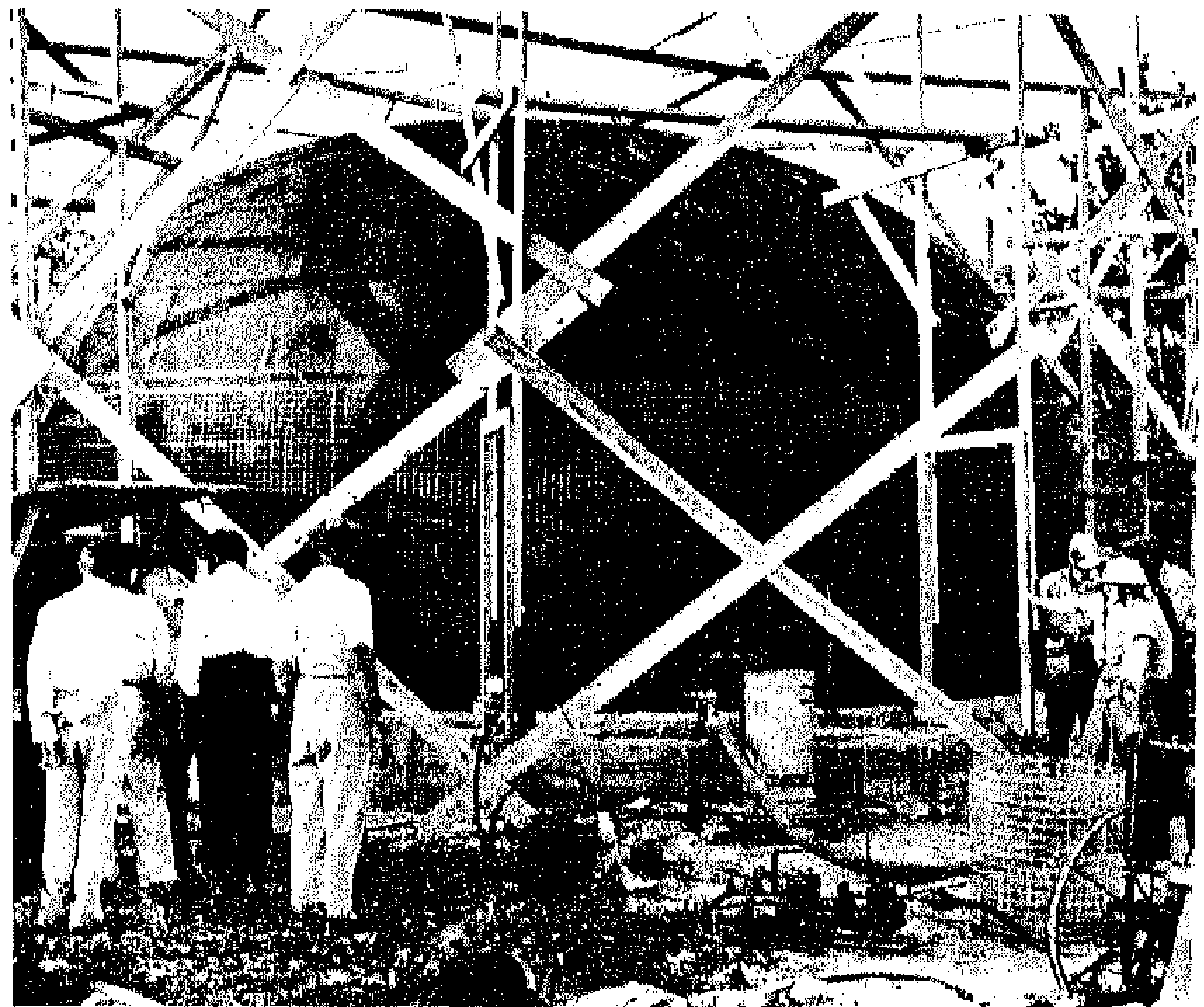
شكل ١٦١



شكل ١٥٩



شكل ١٦٠



الاستعمال المتعددة للصلبات — البالونات

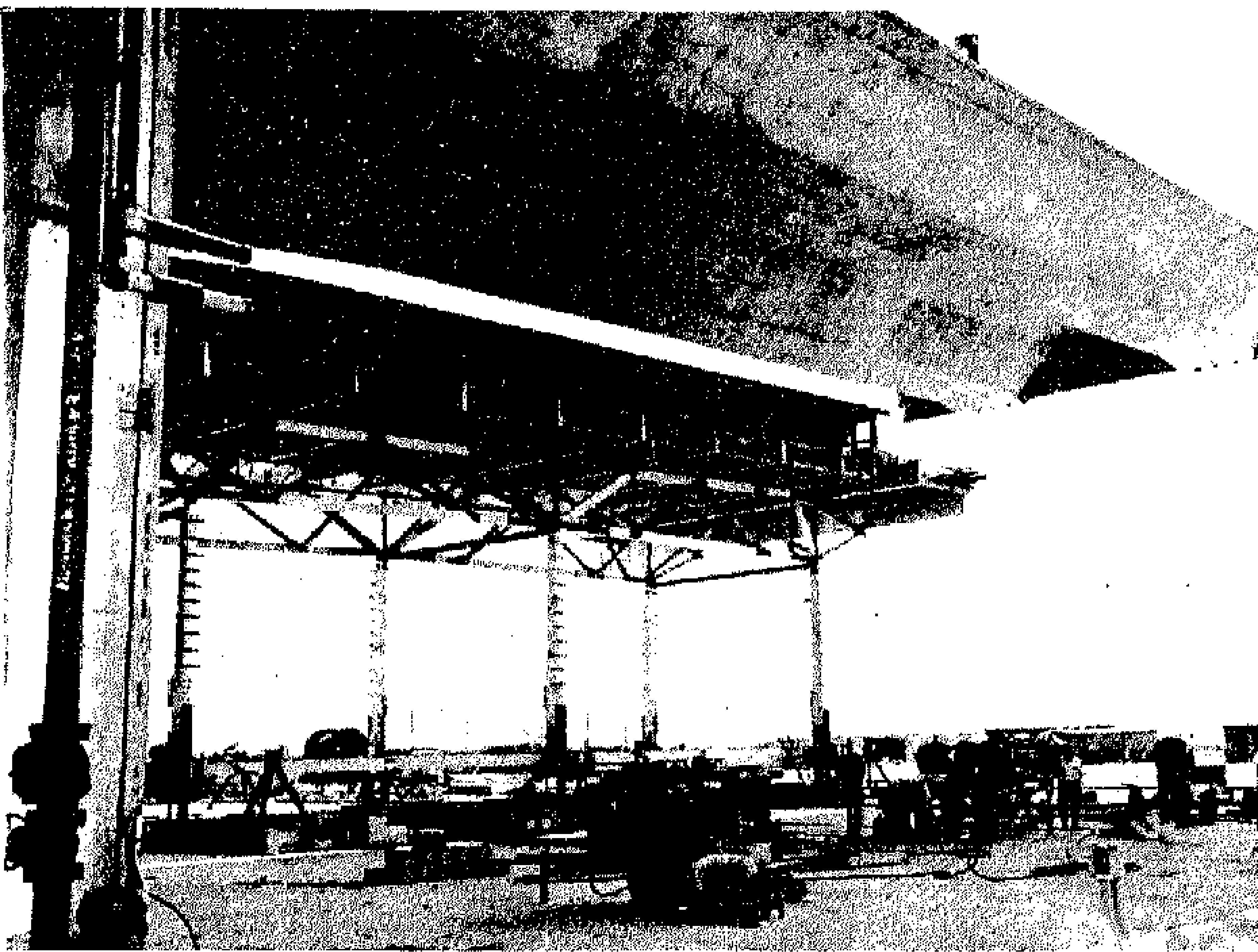
المهندس المعمارى اليوت نويز .

(شكل ١٥٩) ملء البالونة بالهواء .

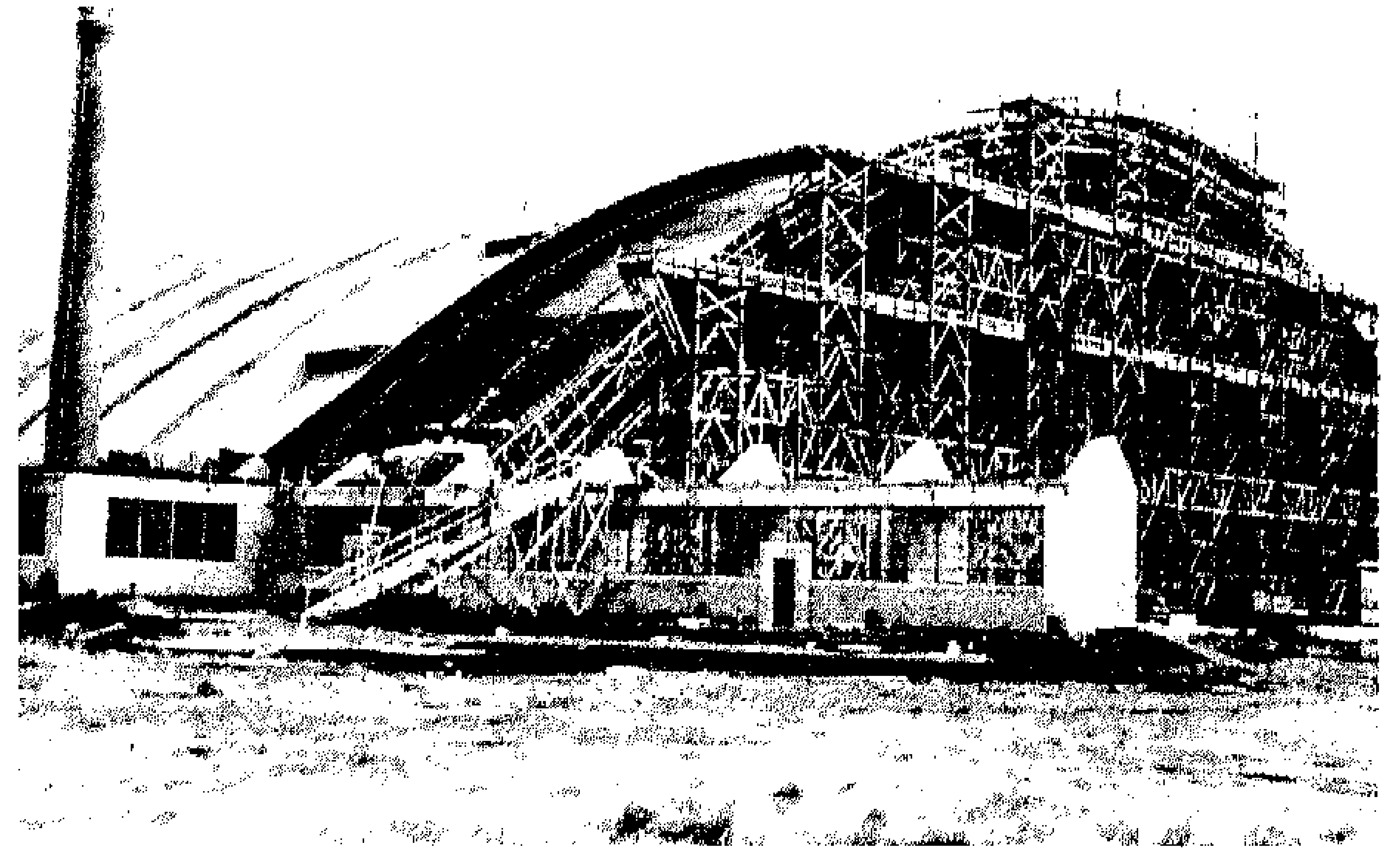
(شكل ١٦٠) التسليح بشبكة أسياخ متقاطعة عند القاعدة .

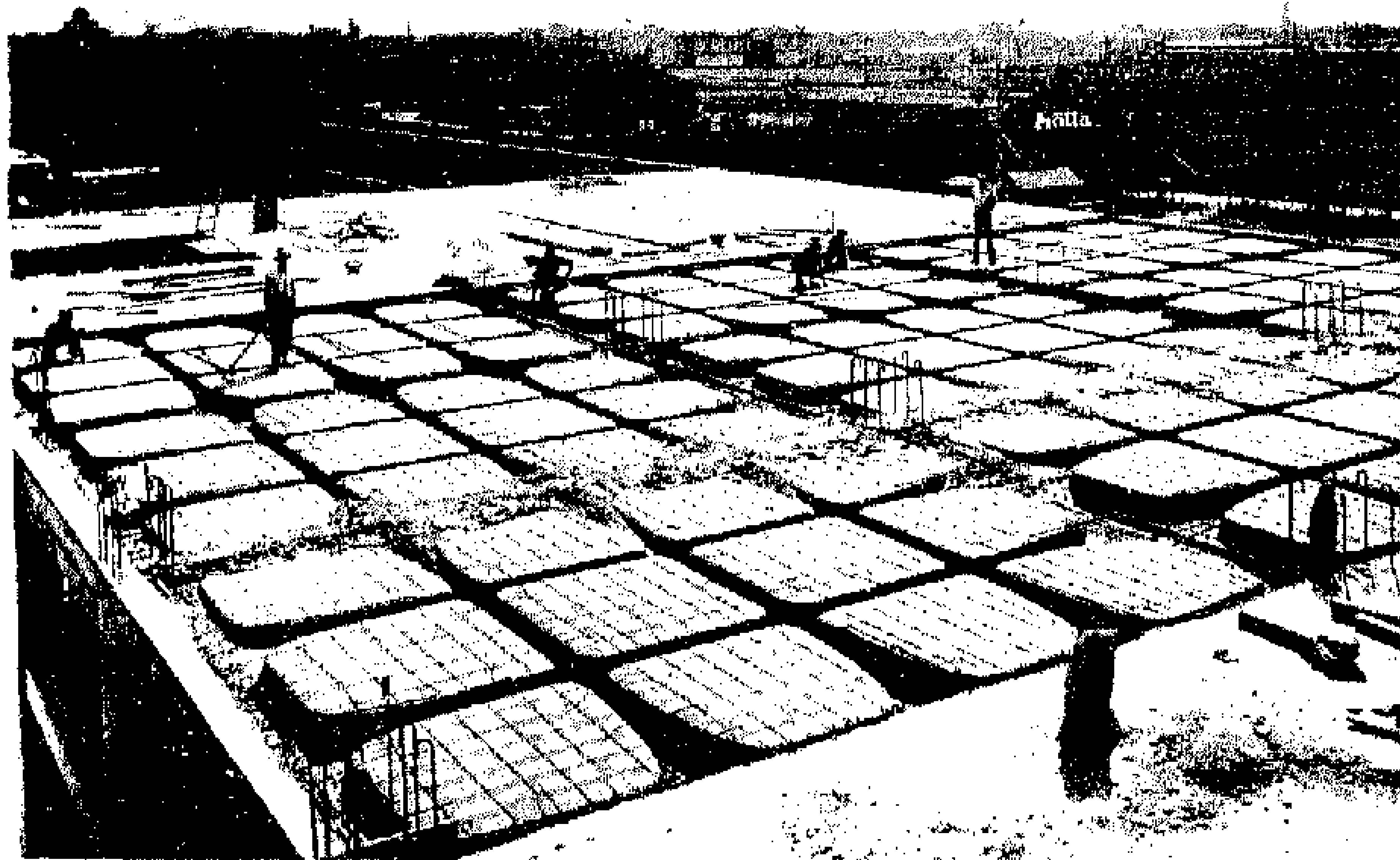
(شكل ١٦١) رش الخرسانة فوق البالونة .

شكل ١٦٣



شكل ١٦٢





شكل ١٦٥

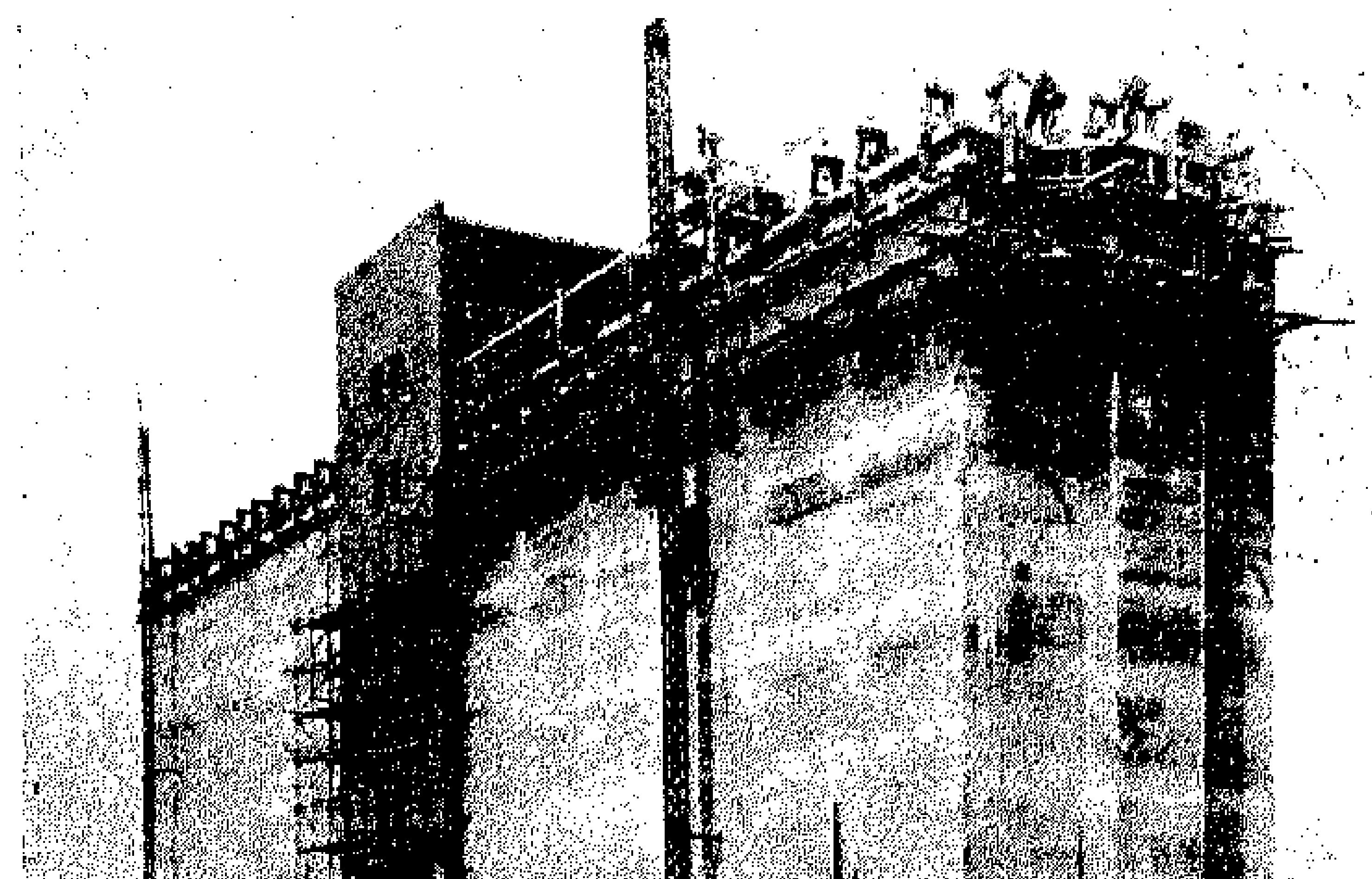


شكل ١٦٤

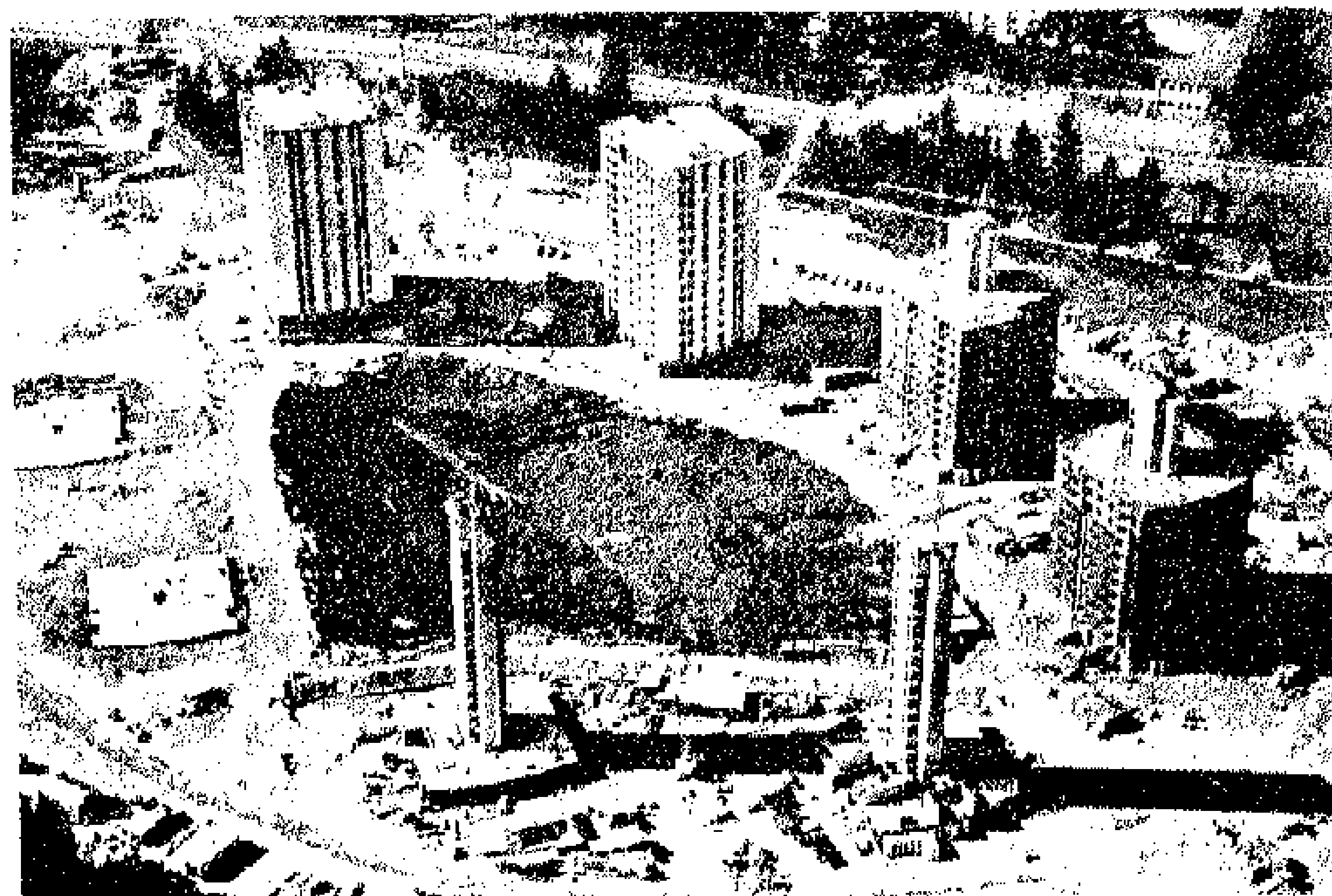
الاستعمال المتعدد للصلبات المتحركة أفقياً

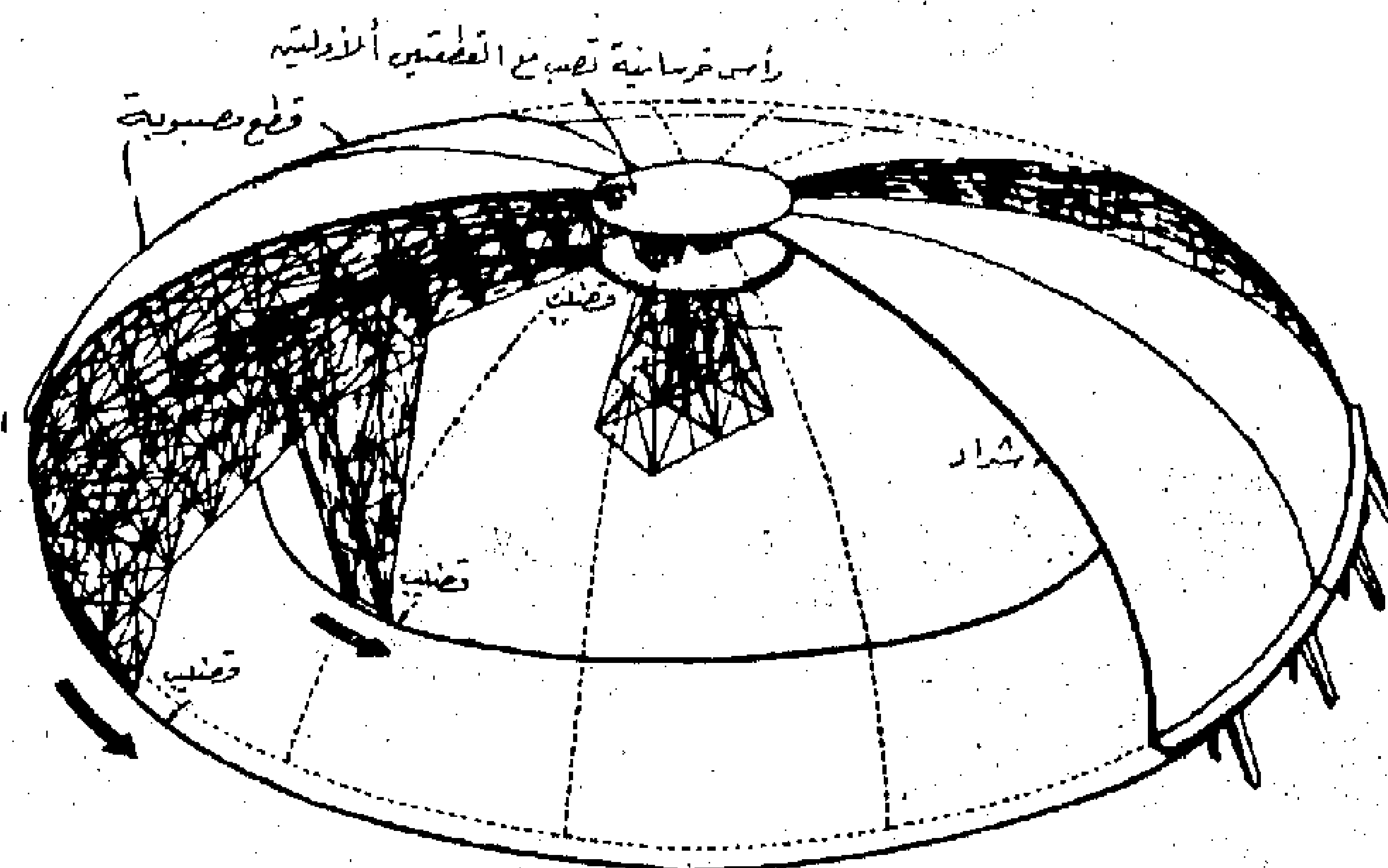
(شكل ١٦٢) صلبة متحركة لصدفة أسطوانية قصيرة.
(شكل ١٦٣) جمالون خشبي بروافع رأسية – حظيرة طائرات شركة ناشنال إيرلاينز – ميامي.
(شكل ١٦٤) صلبة جزئية لحظيرة طائرات بأورلي (١٩٥٠–٥٢)
(شكل ١٦٥) وحدات أسمنت مسلح متحركة لمصنع طباق في بولونيا.

شكل ١٦٦

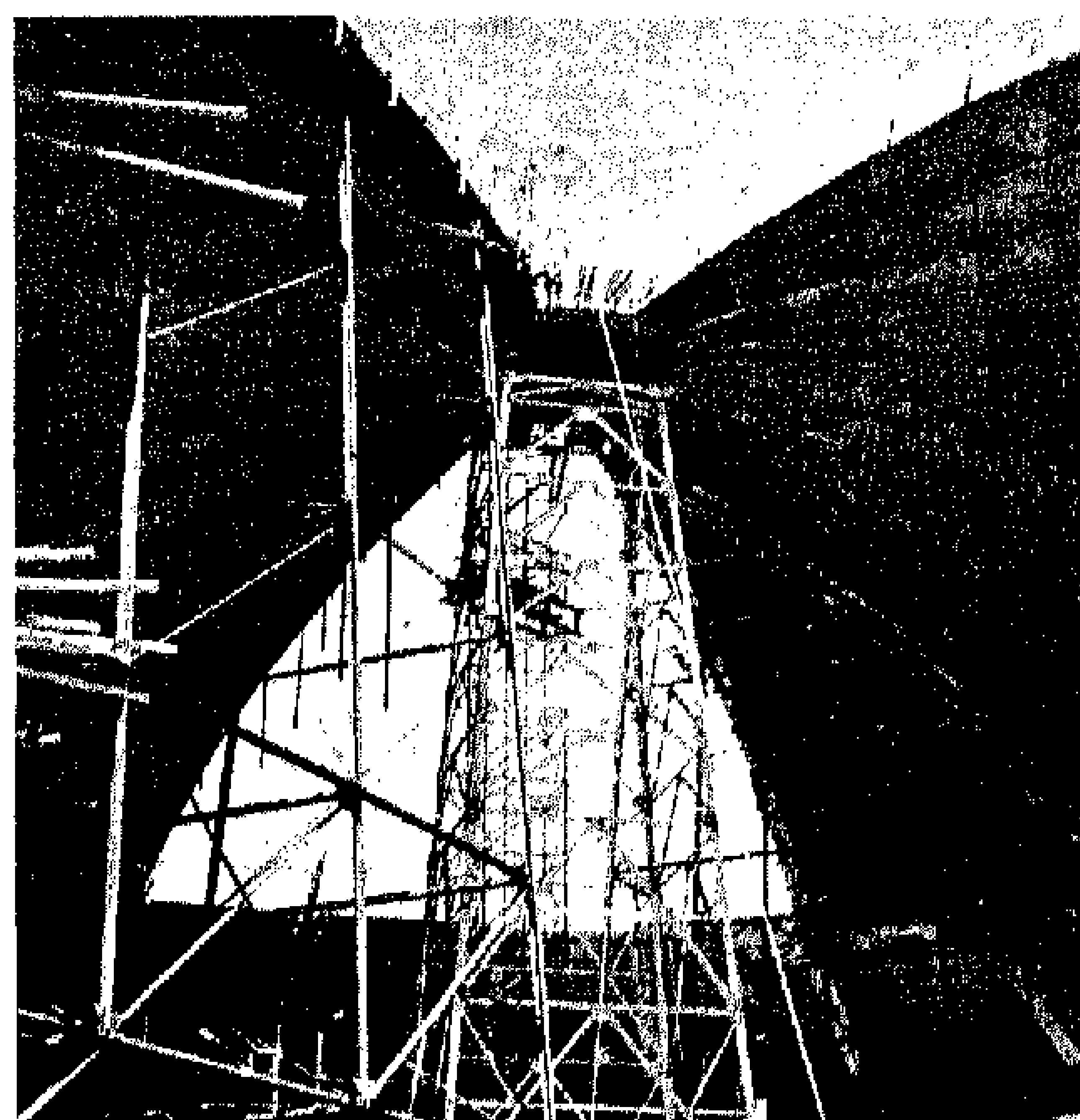


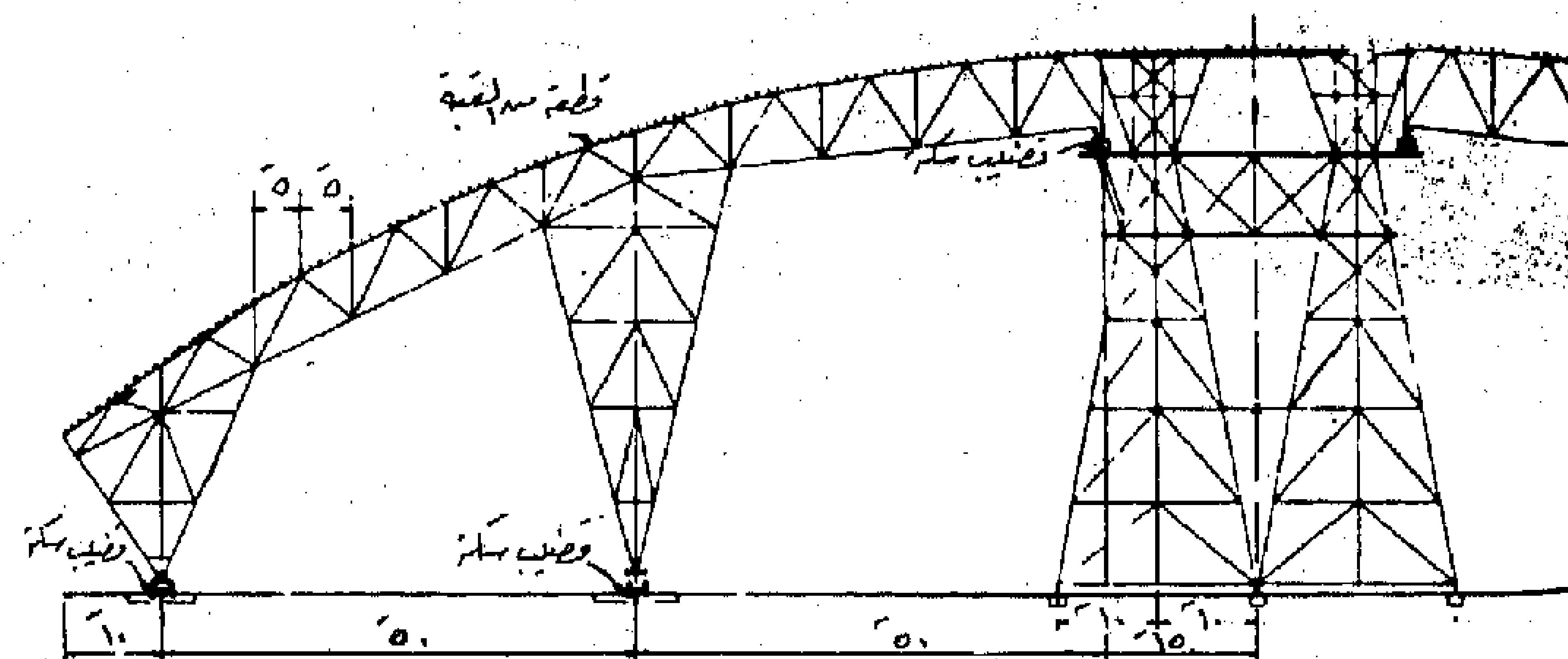
شكل ١٦٧





شكل ١٦٨





الاستعمال المتعدد للصلبات المتحركة

(شكل ١٦٦– صلبات تتحرك رأسيا مستعملة في إنشاء صوامع مربعة.

(شكل ١٦٧) موقع العمل فى مشروع ناسبيدال بجوار استكهولم من ثمان عمارات (١٧ دوراً) –أبراج الخدمة صبت بالشدات المتحركة كونكريتور – بروميتو.

(شكل ١٦٨) صلبات متحركة دائريا مستعملة فى إنشاء شرائح من صدفات قشرية على شكل قباب.

شكل ١٦٩



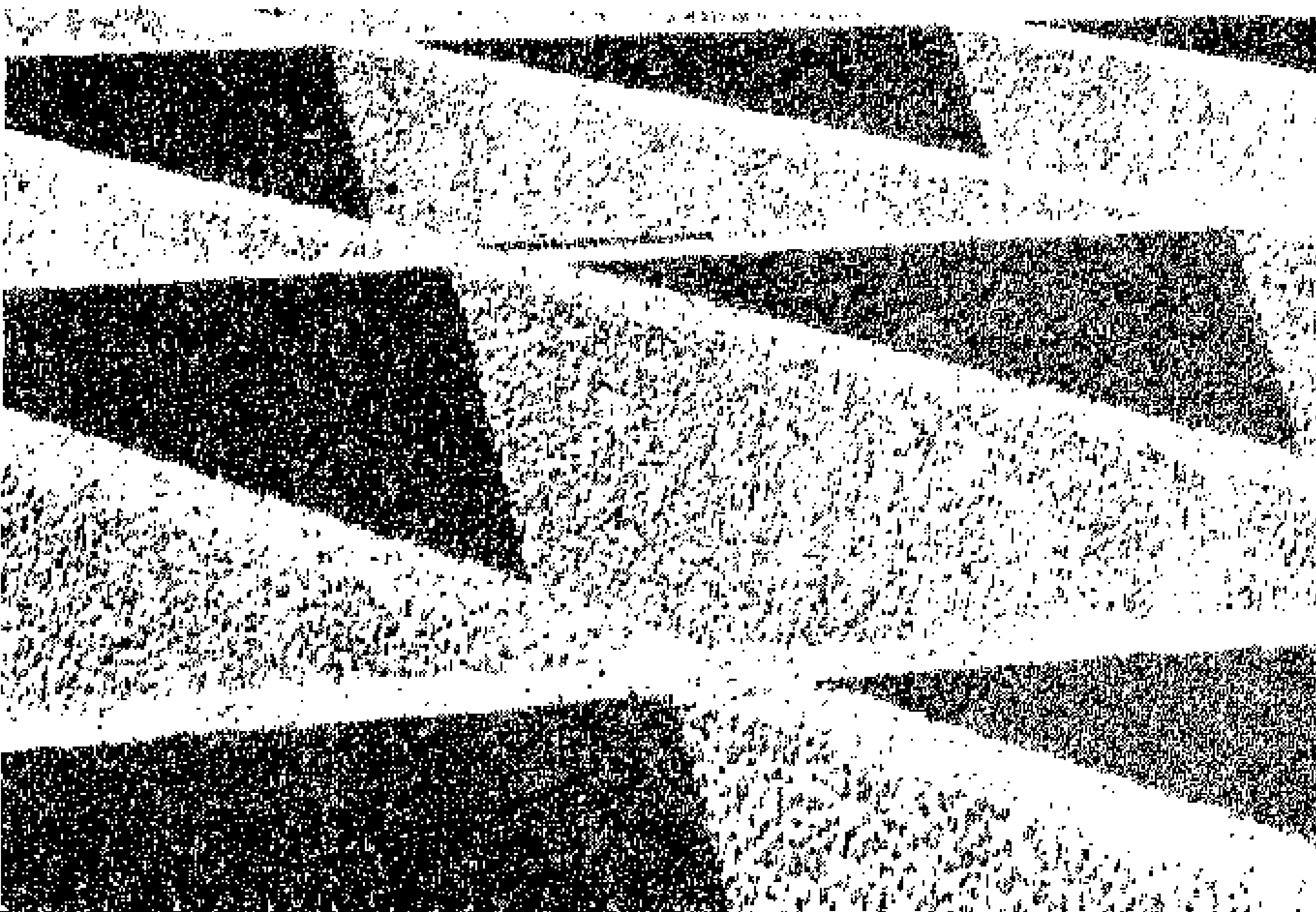
معالجة السطح الخرسانى

(شكل ١٦٩) أسطح خرسانية ذات ملمس خشن

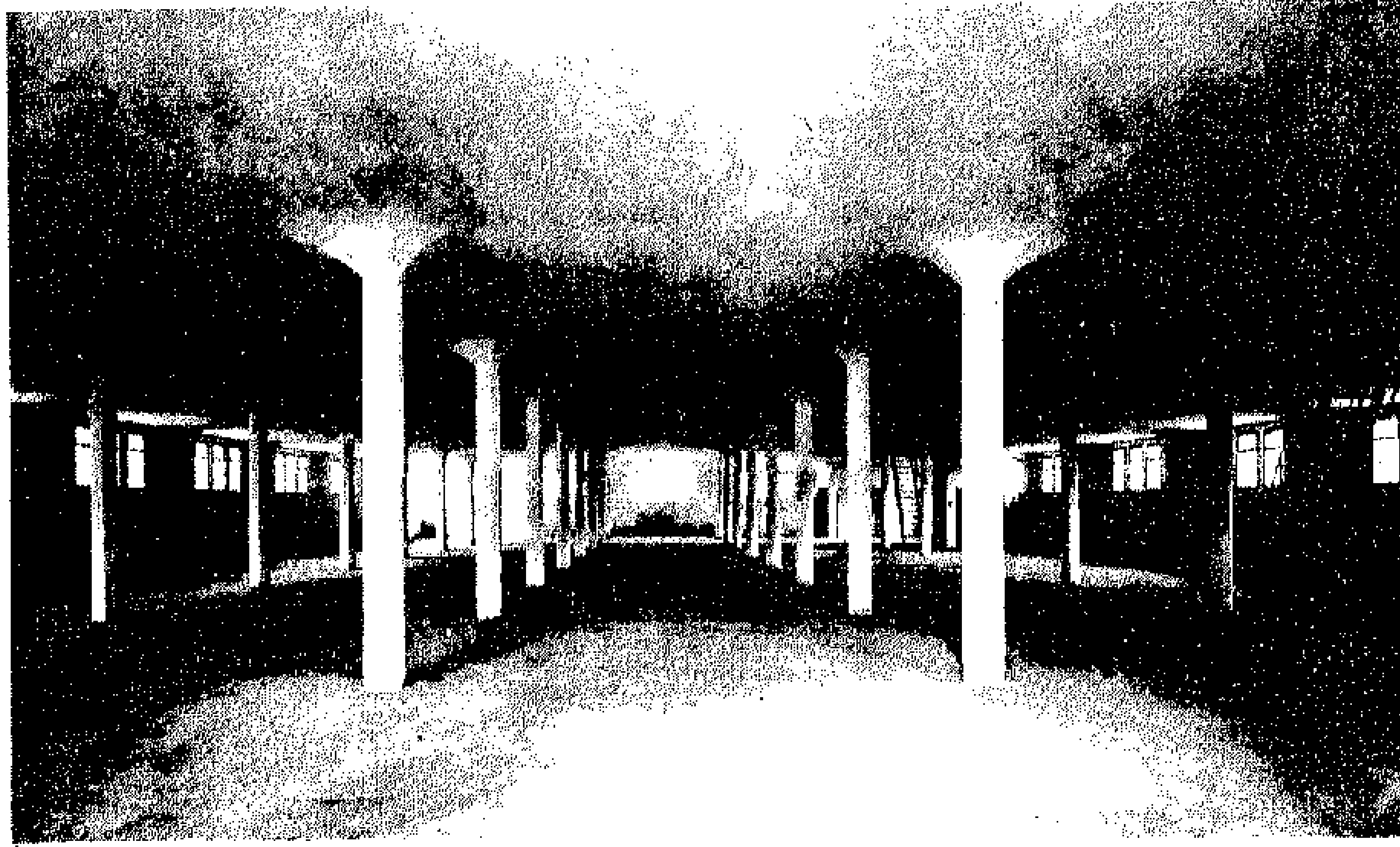
(شكل ١٧٠) الفنان أثناء عمله بمسدس الرمل على السطح الخرسانى الخارجى للمبنى الحكومى بمدينة أوسلو .

شكل ١٧٠

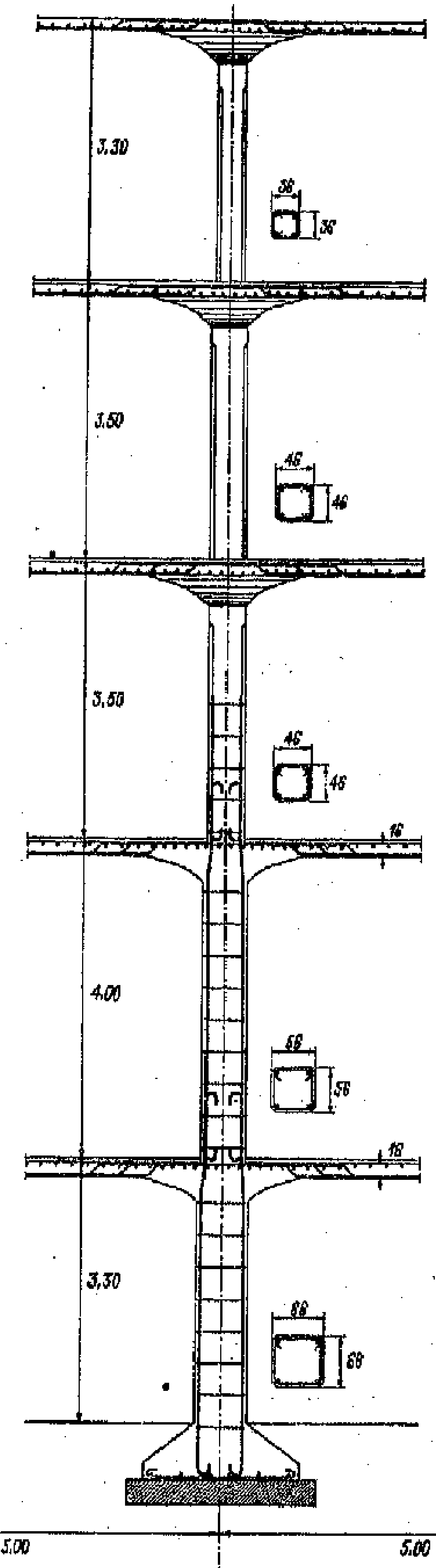


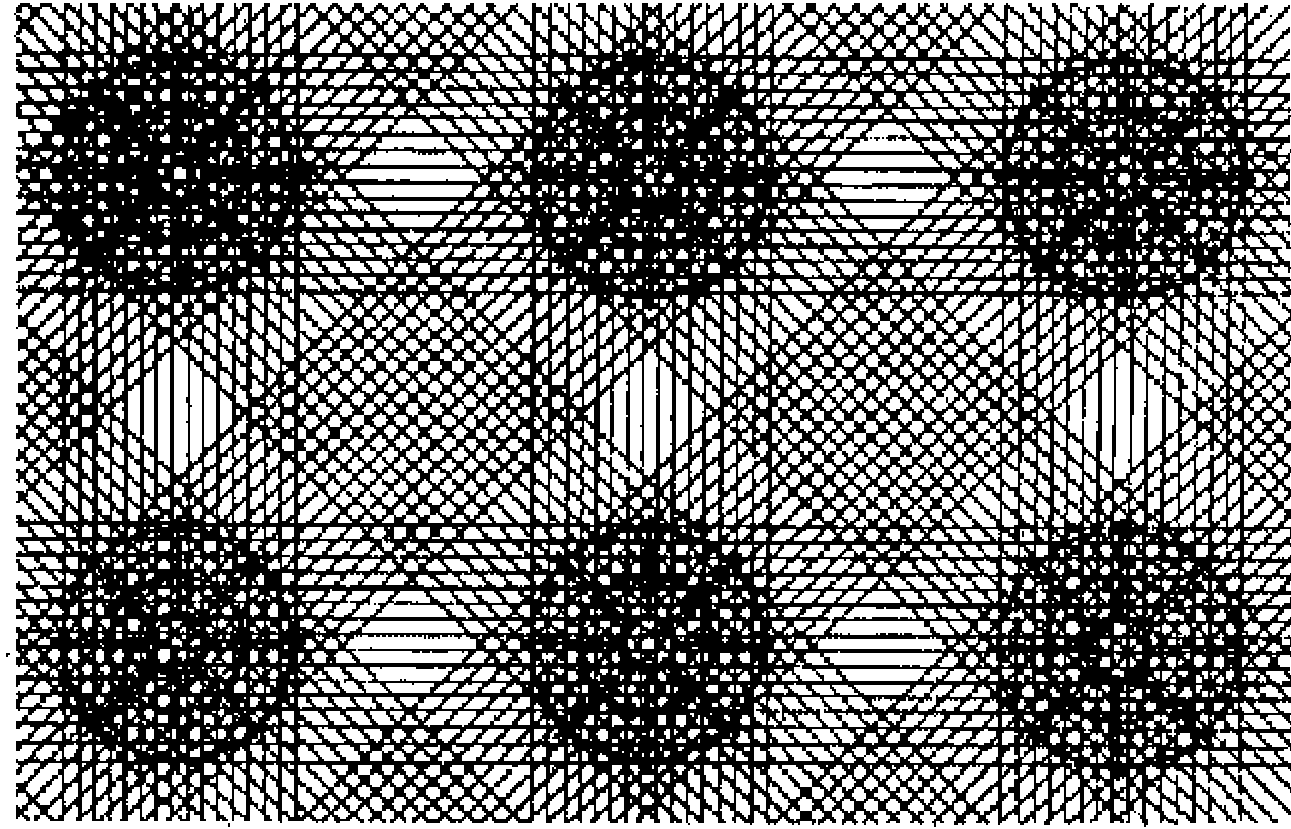


شكل ١٧١

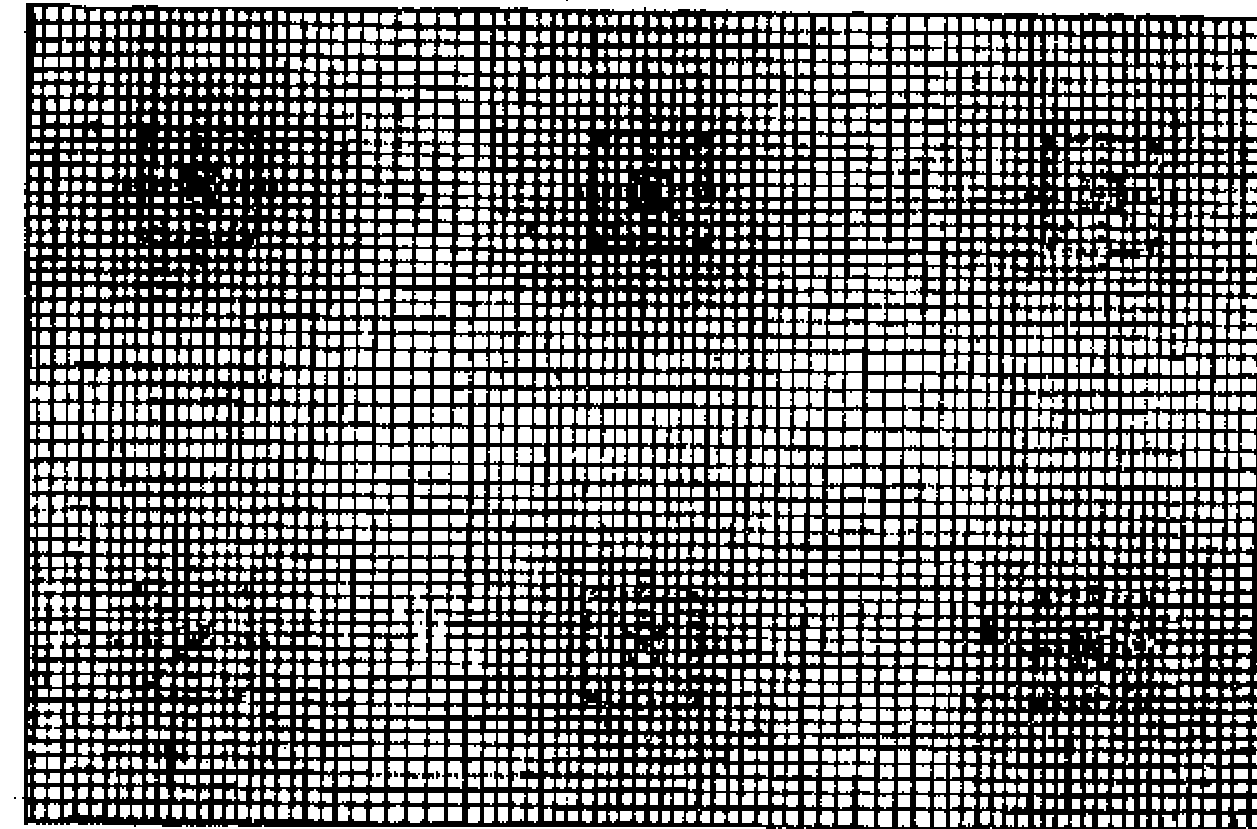


شكل ١٧٢





ب



أ

شكل ١٧٣

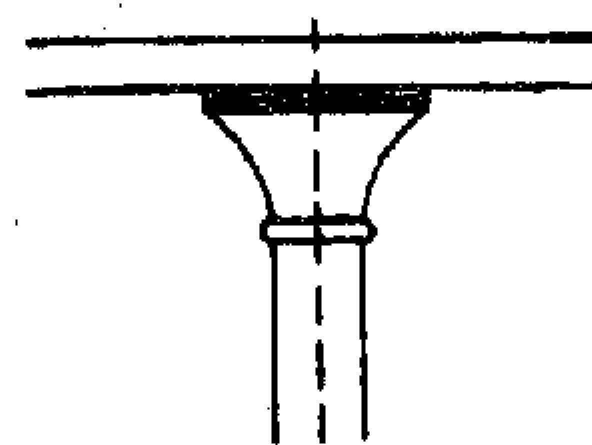
البلاطة الخرسانية كوحدة إنشائية فعالة

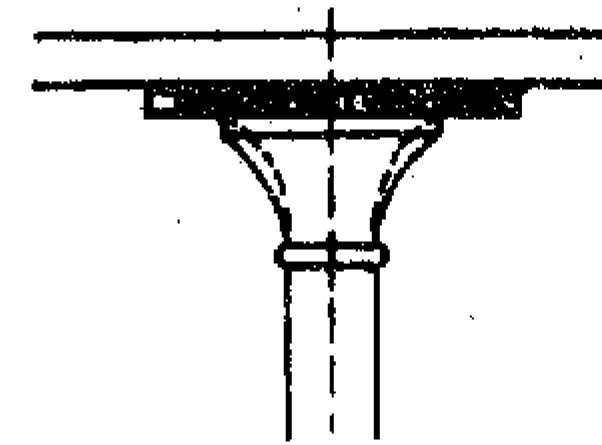
المهندس روبرت مايار

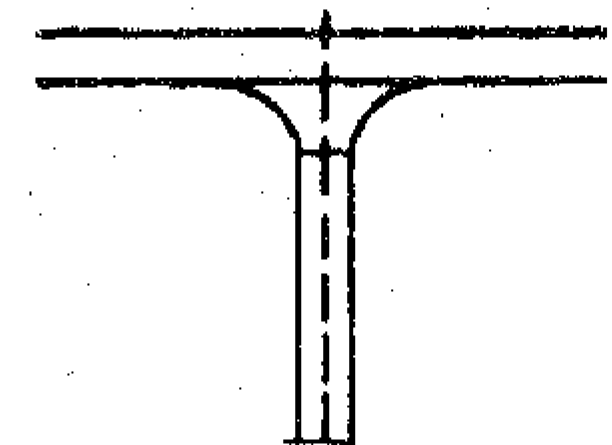
(شكل ١٧١) مخازن شركة بشلشافت بزيورخ ١٩١٠ .

(شكل ١٧٢) مخازن التدورف ١٩١٢ — قطاع

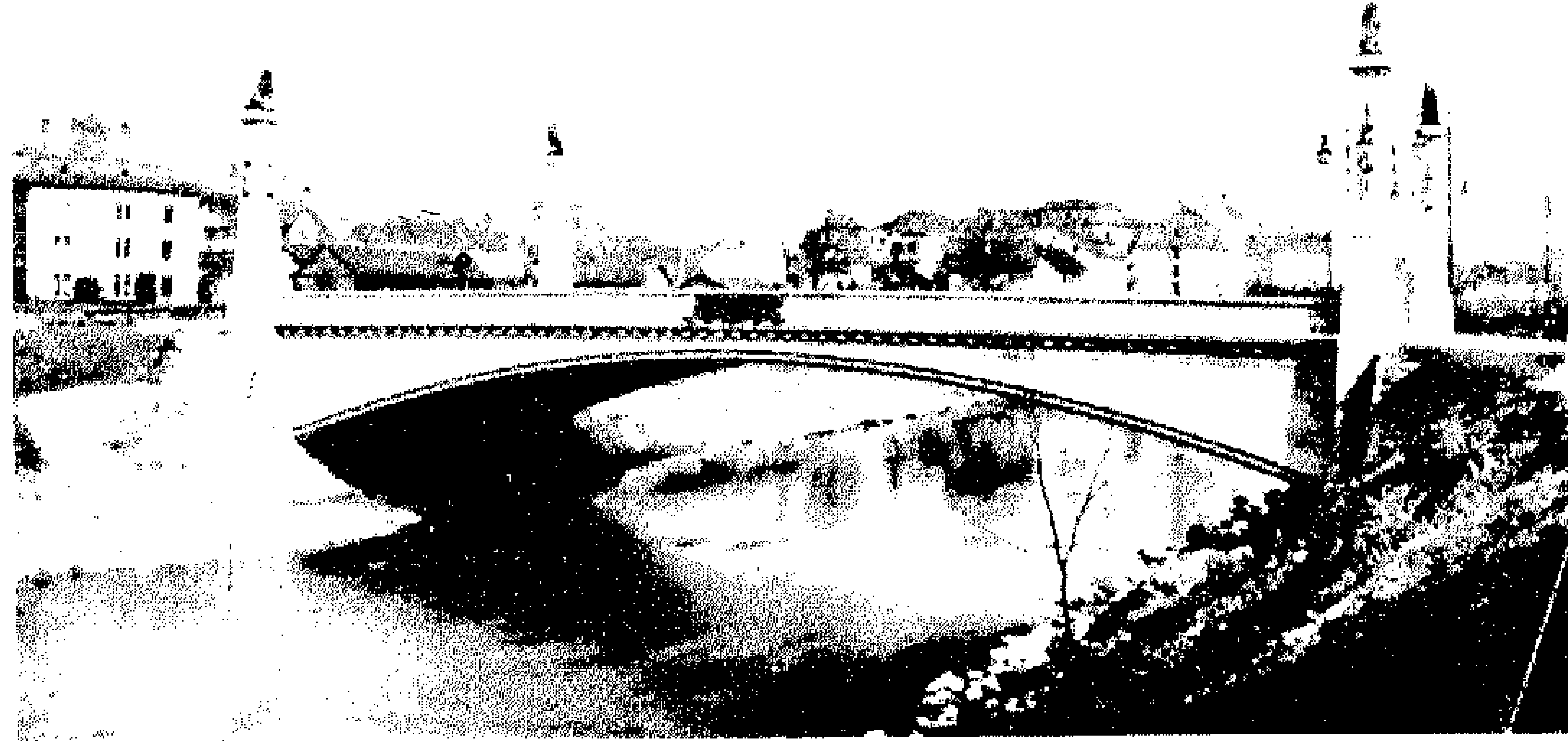
(شكل ١٧٣) مقارنة بين طريقة مايار (أ) وطريقة تيرنر (ب) للأعمدة المشرومية



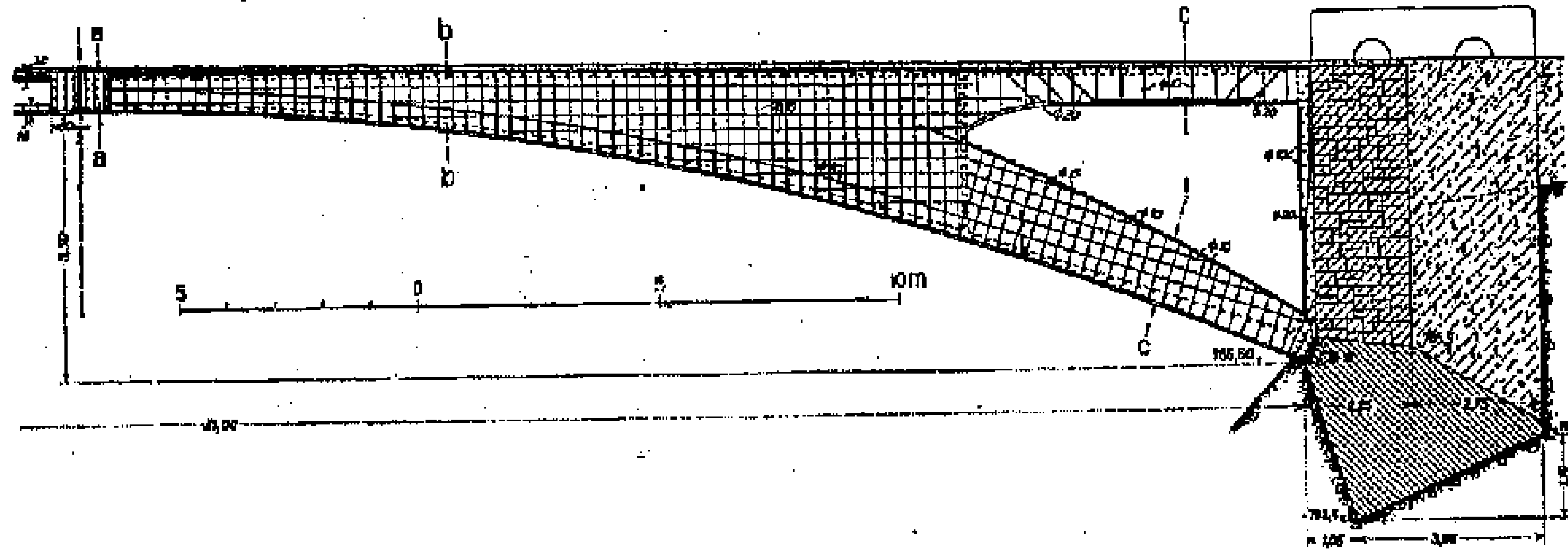




شكل ١٧٤



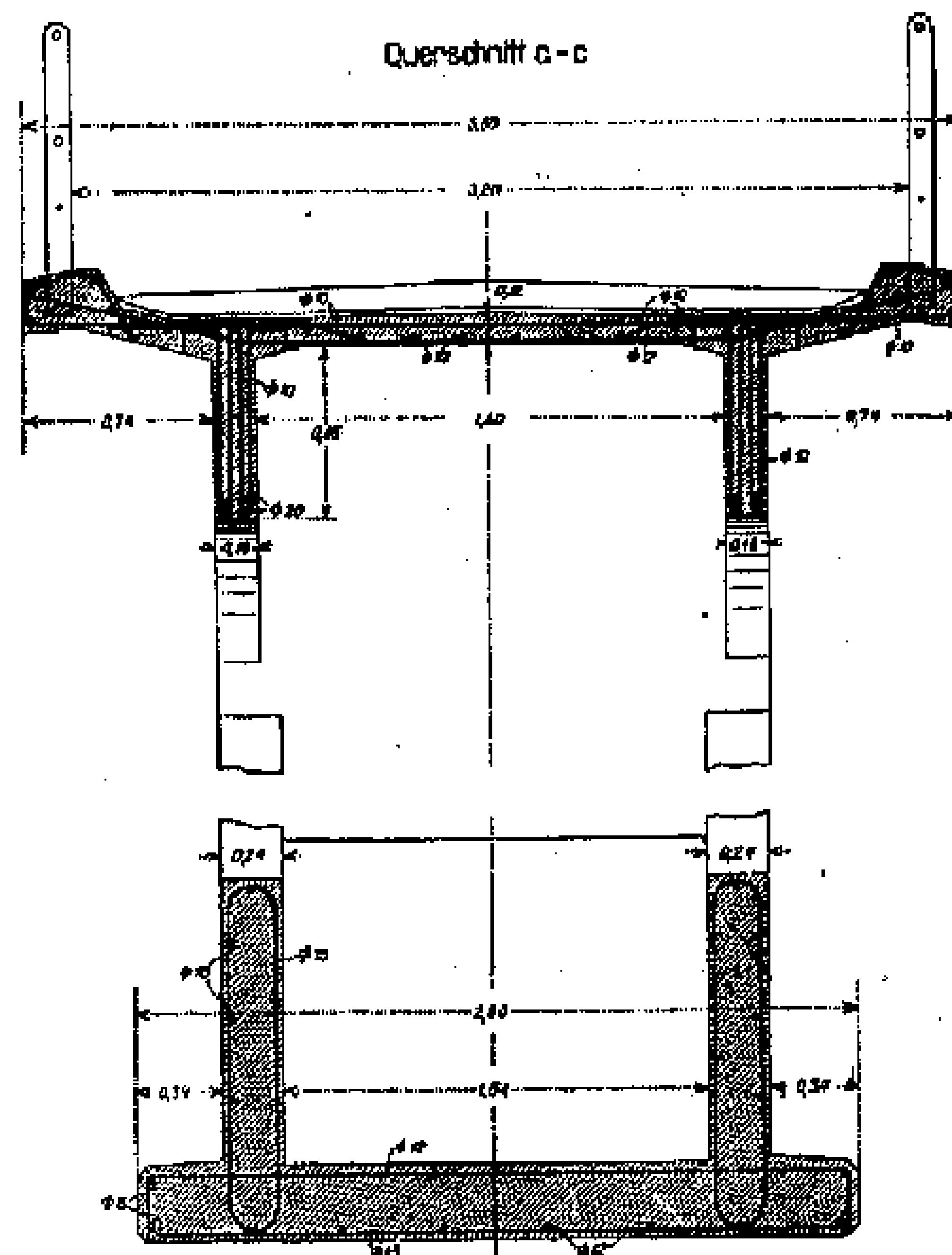
شكل ١٧٦



شكل ١٧٥

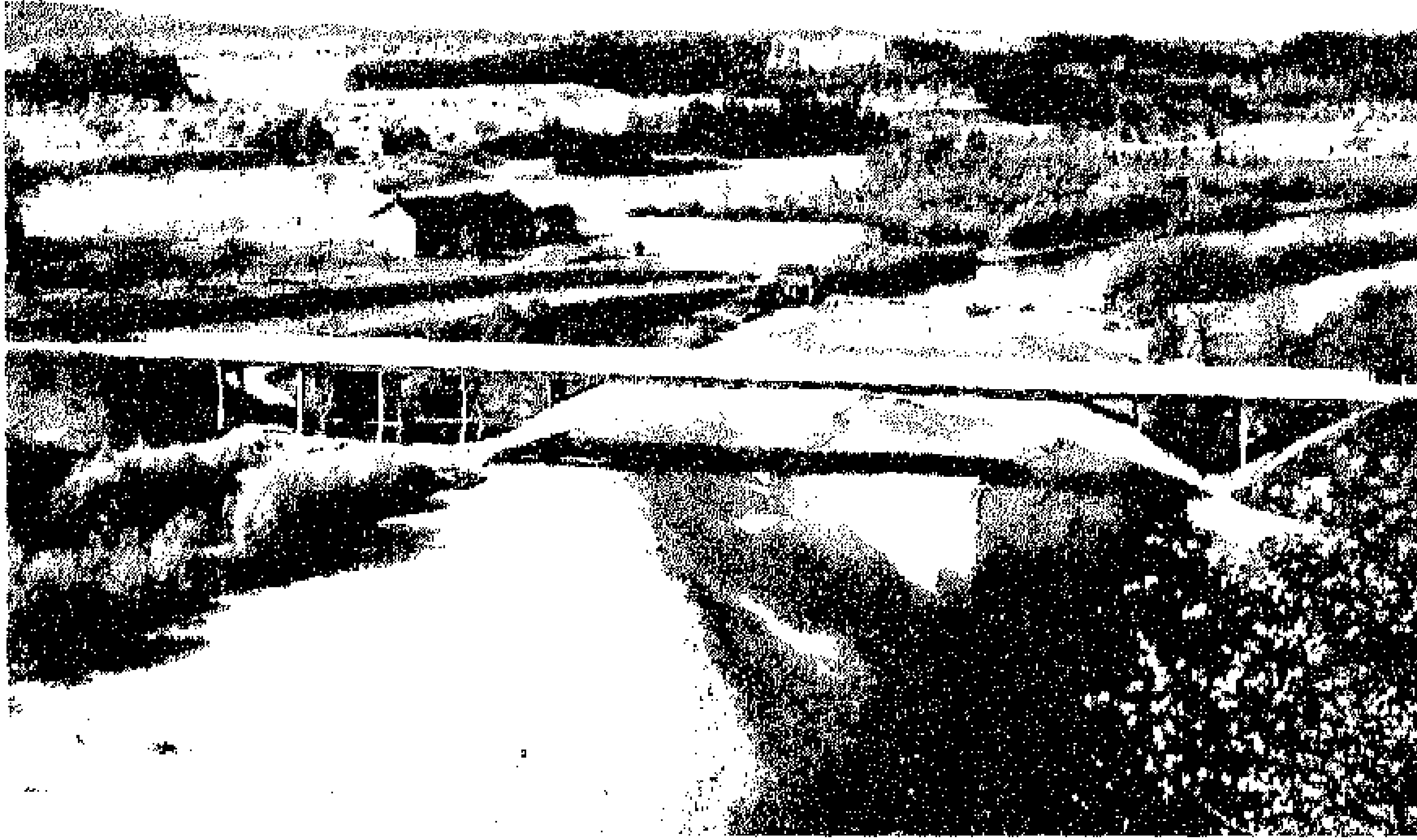


شكل ١٧٧

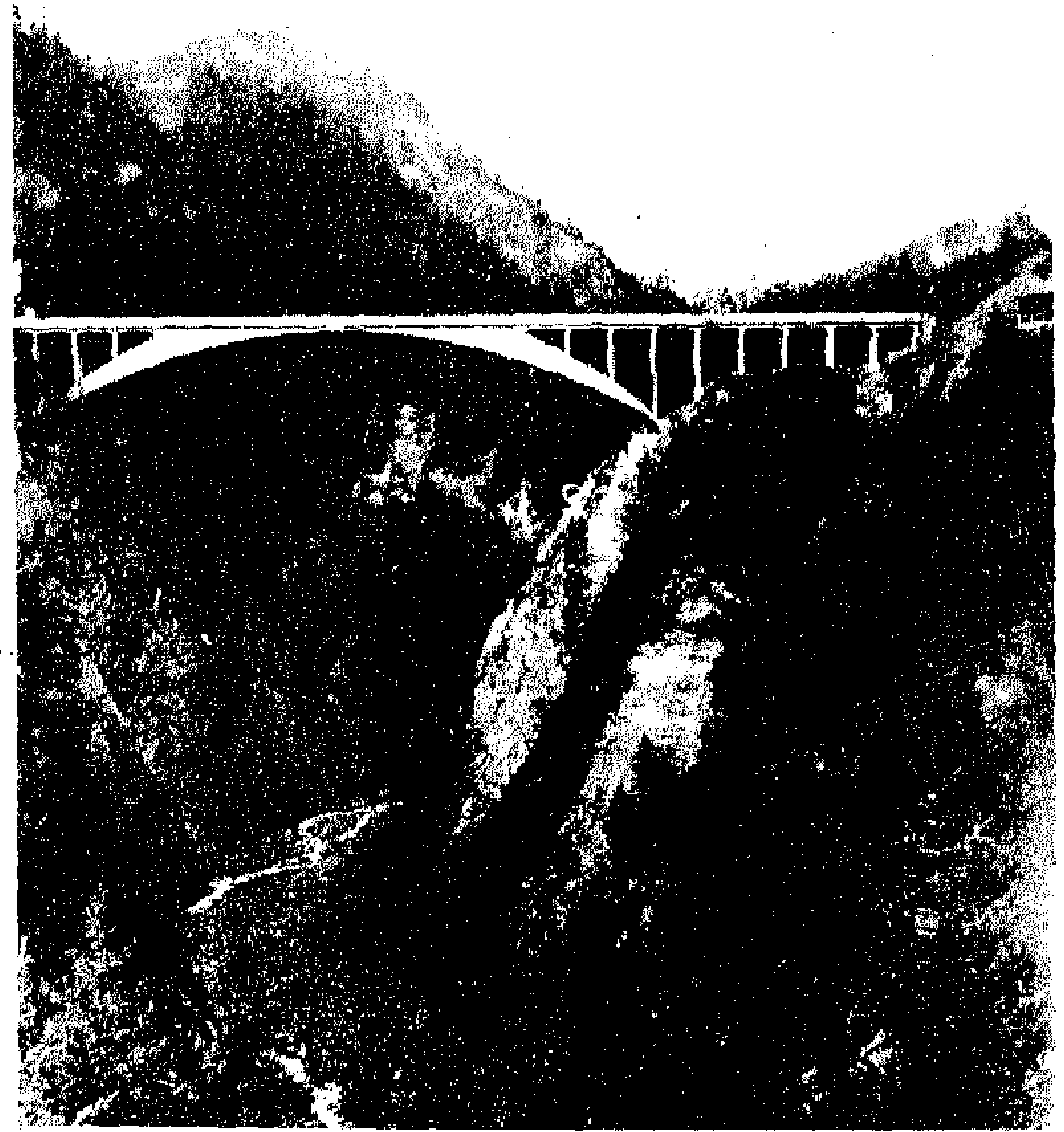


البلاطة كعنصر إنشائي فعال ــ أعمال كباري روبرت مايار

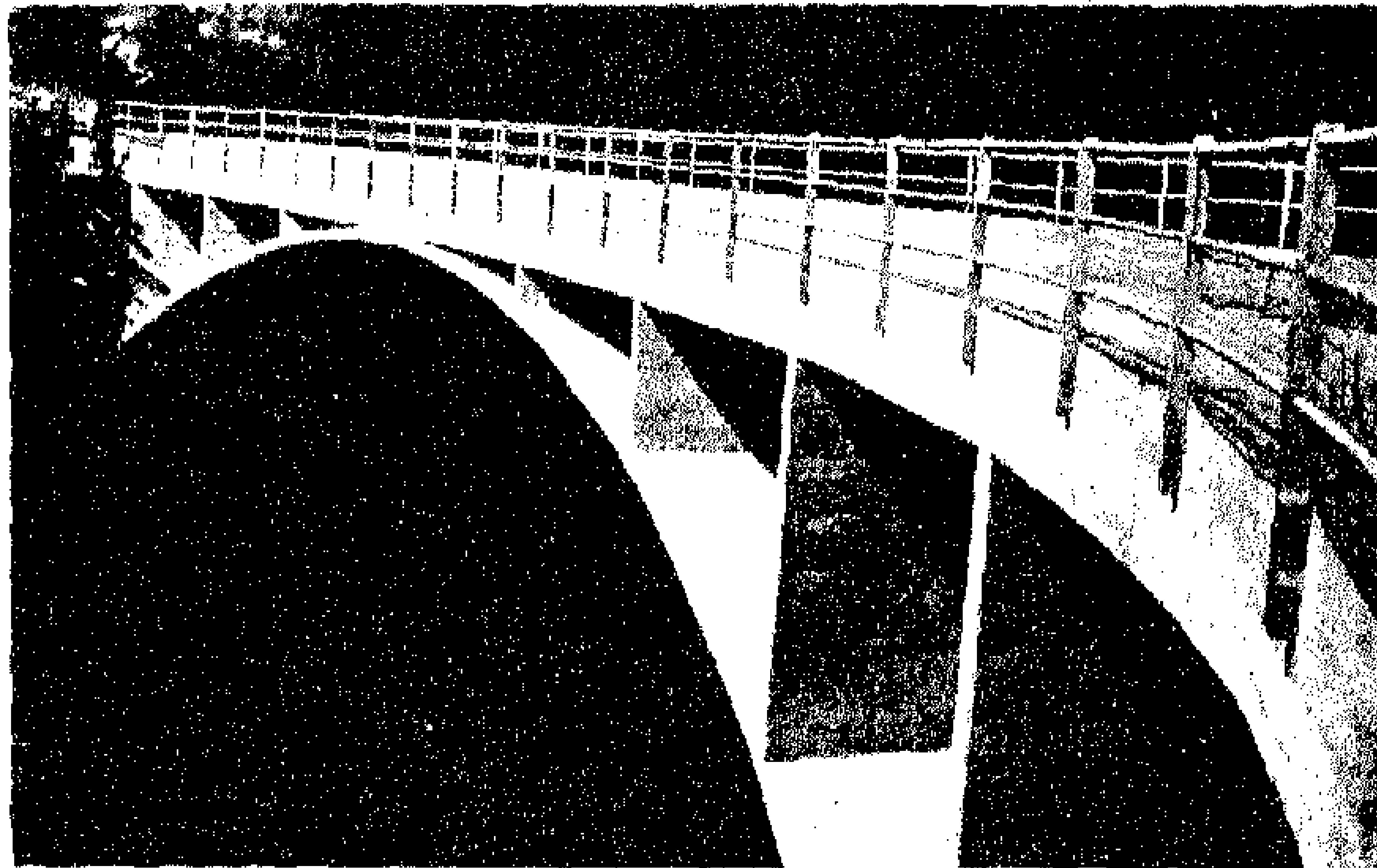
(شكل ١٧٤) كوبري ستاوفاشر بزيورخ سنة ١٨٩٩ (بحر ٣٩,٦ متراً وارتفاع ٣,٧٠ م)
(شكل ١٧٥ – ١٧٧) كوبري تاڤاناسا سنة ١٩٠٥ – منظور وقطاعات (طول الكوبري ٥١,٠٠ متراً)



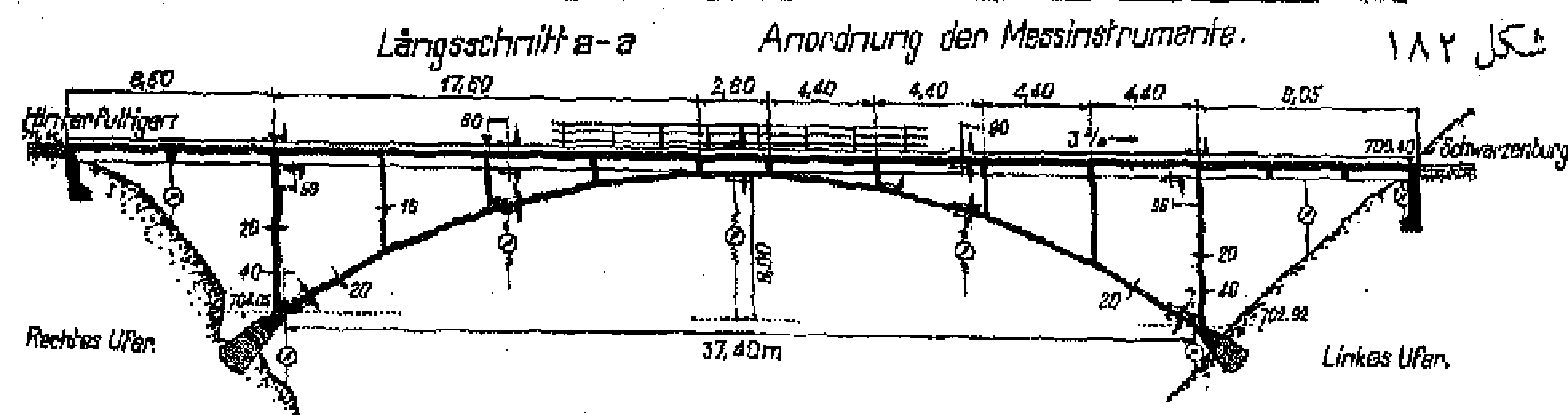
شكل ١٨٠



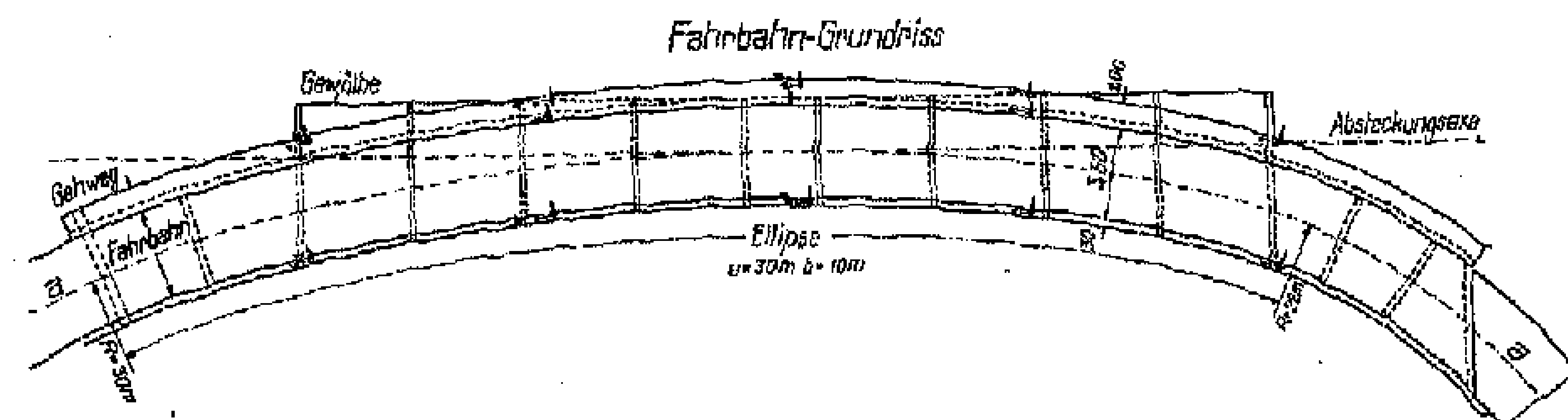
شكل ١٧٨

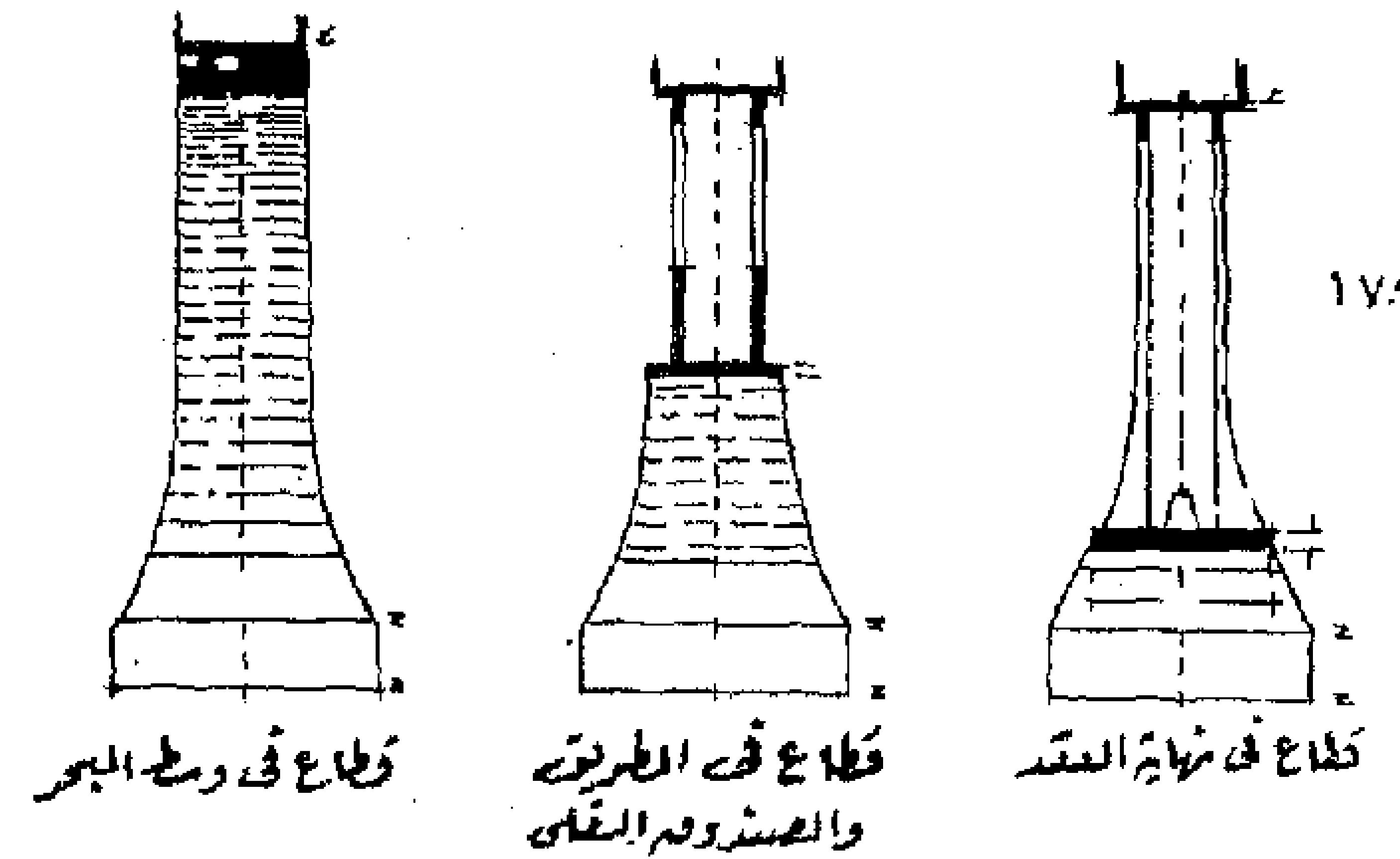


شكل ١٨١



شكل ١٨٢





شكل ١٧٩

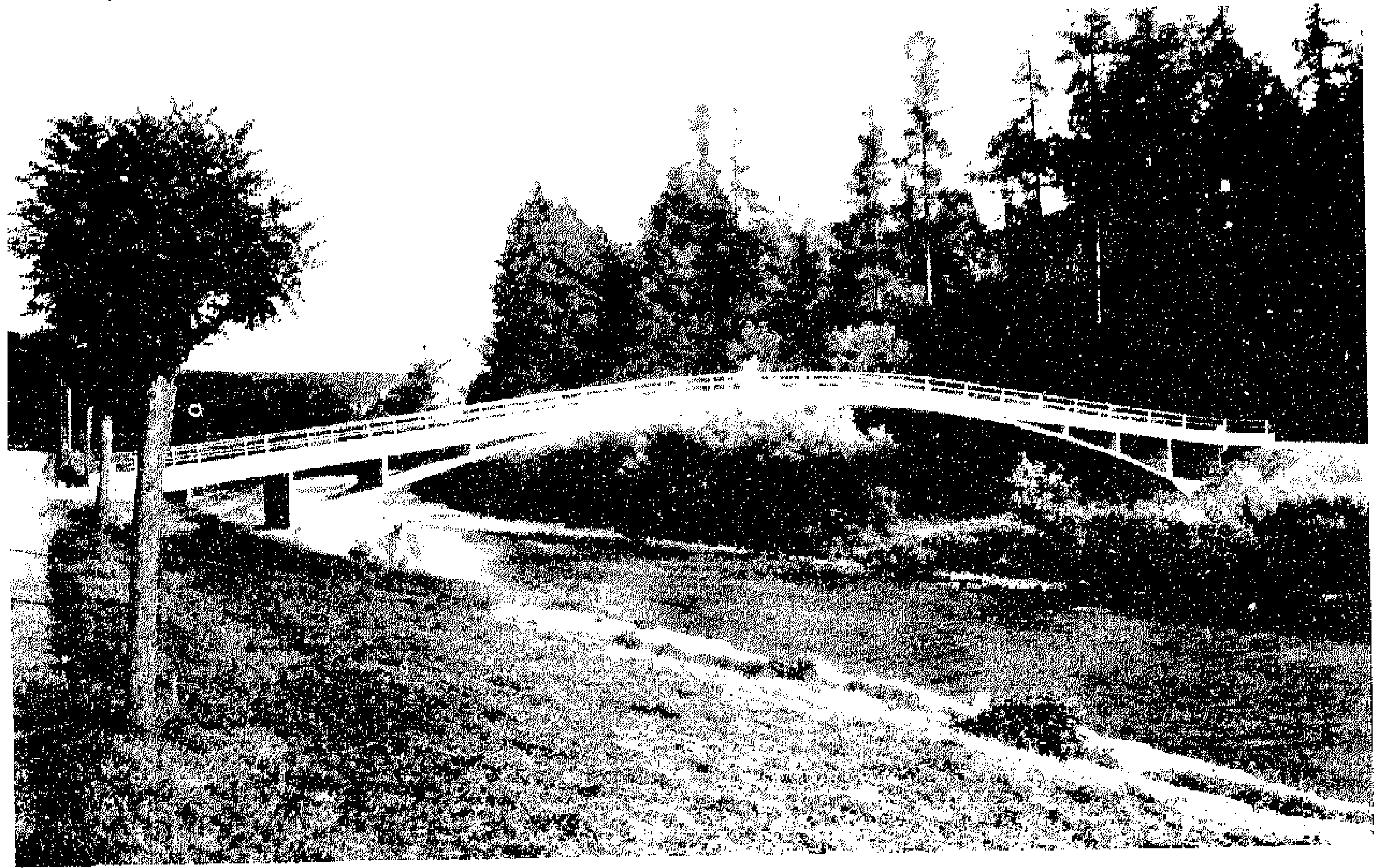
البلاطة كعنصر إنشائى فعال ـ أعمال كبارى روبرت مايار

(شكل ١٧٨ ، ١٧٩) كوبرى سالجناتوبل سنة ١٩٣٠ ــ منظور وقطاعات (طول الكوبرى ٩٠٫٠٤ م) .

(شكل ١٨٠) كوبرى فلسج سنة ١٩٣٣ (طول الكوبرى ٧٢٫٠٠م) .

(شكل ١٨١ ــ ١٨٢) كوبرى شفاندباخ بمدينة كانتون بيرن سنة ١٩٣٣ .

شكل ١٨٣

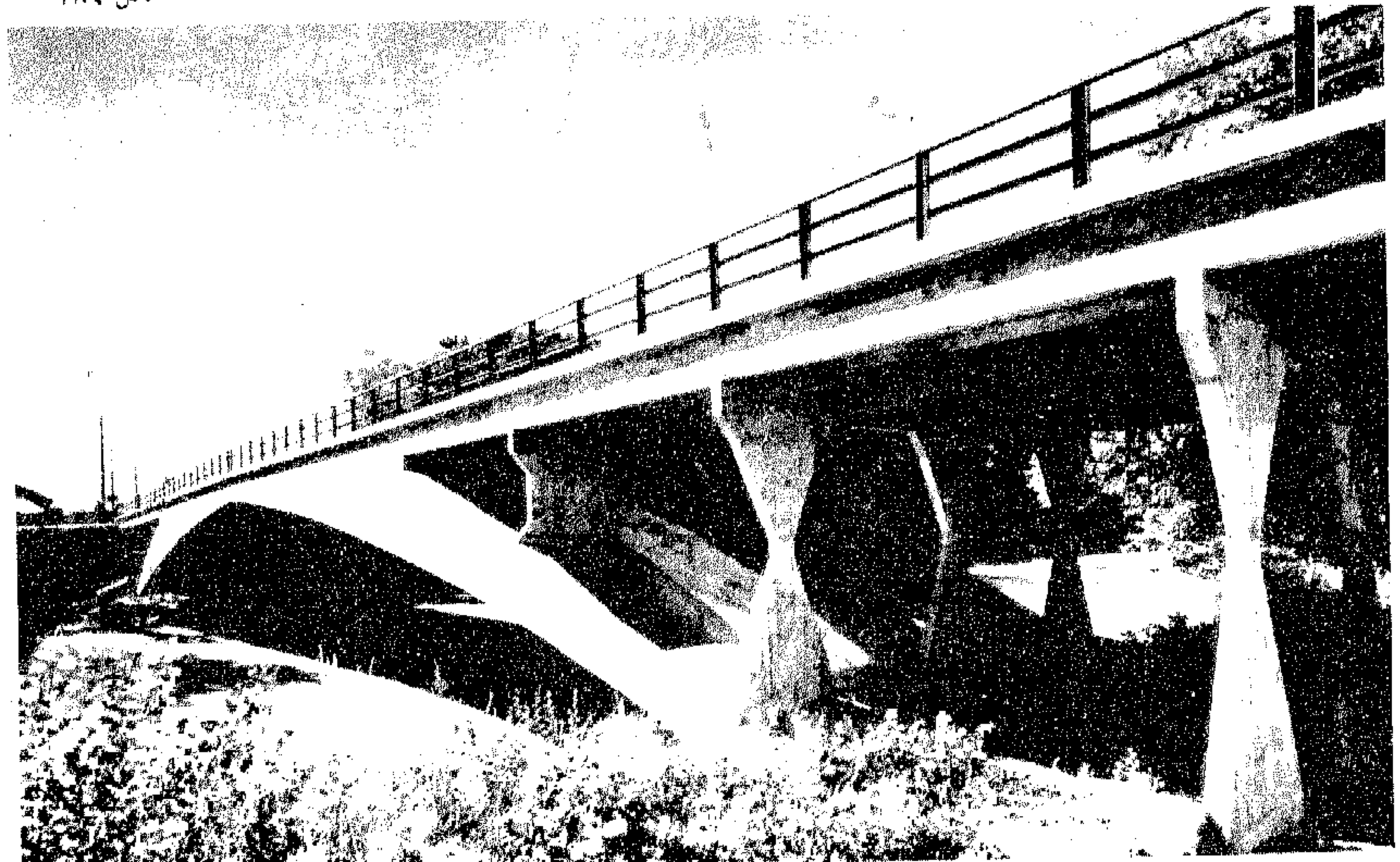


البلاطة كعنصر إنشائى فعال — أعمال كبارى روبرت مايار

(شكل ١٨٣) كوبرى مشاه فوق نهر توبس بقرب وولفلنجن سنة ١٩٣٤

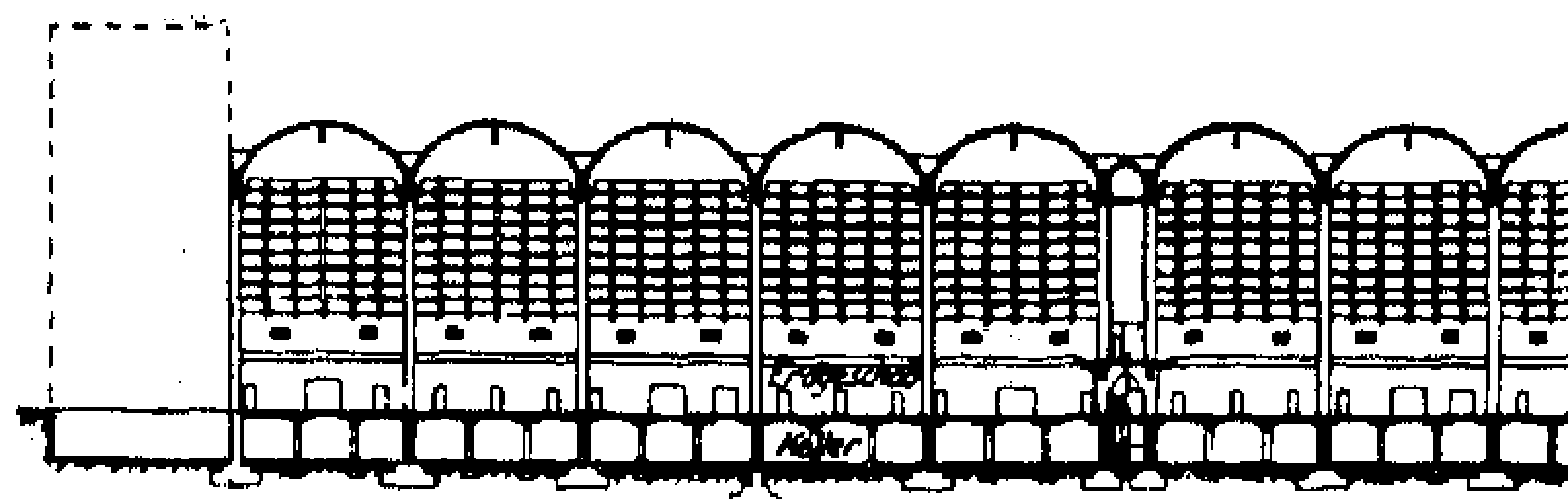
شكل ١٨٤) كوبرى فوق نهر أرف بجوار جنيف سنة ١٩٣٧ (طول الكوبرى ٥٥,٩٧م).

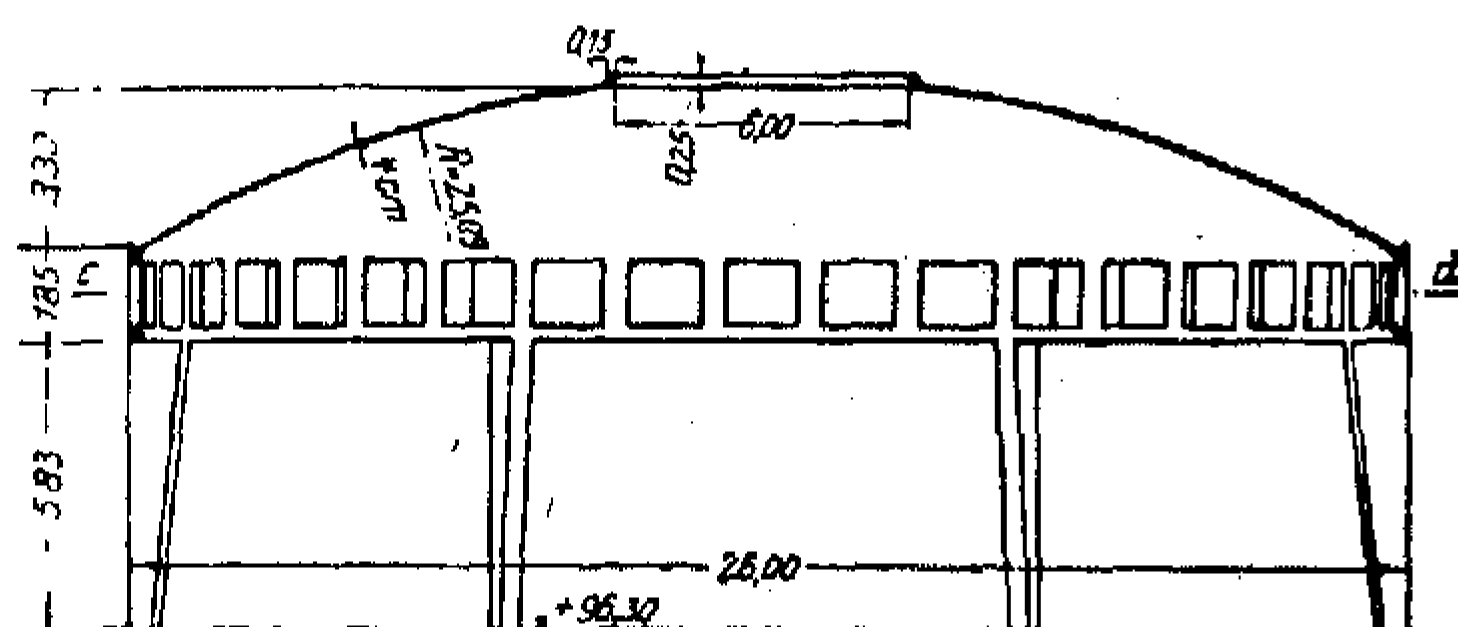
شكل ١٨٤

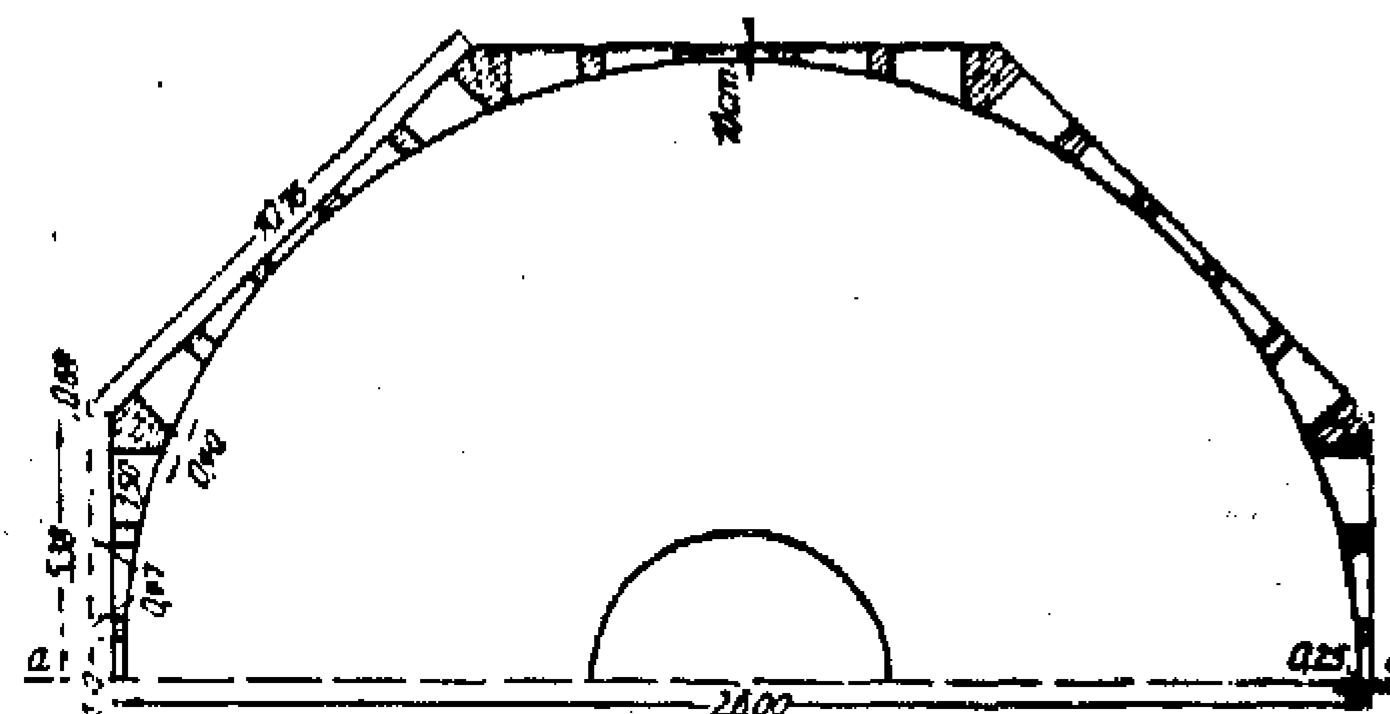


أمثلة أولى للصدفات القشرية

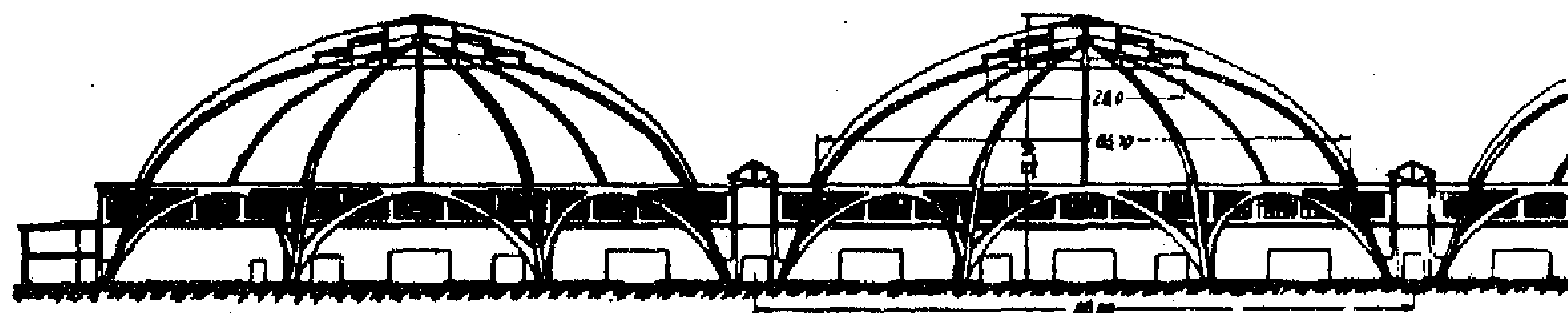
(شكل ١٨٥) قطاع فى صالة سوق مدينة فرانكفورت على ماين سنة ١٩٢٧ .
(شكل ١٨٦) قطاع ومسقط نصفى لصالة مبنى الكهرباء فى فرانكفورت على ماين
(شكل ١٨٧) قطاع طولى فى صالات سوق ليبزج سنة ١٩٢٩ .


شكل ١٨٥

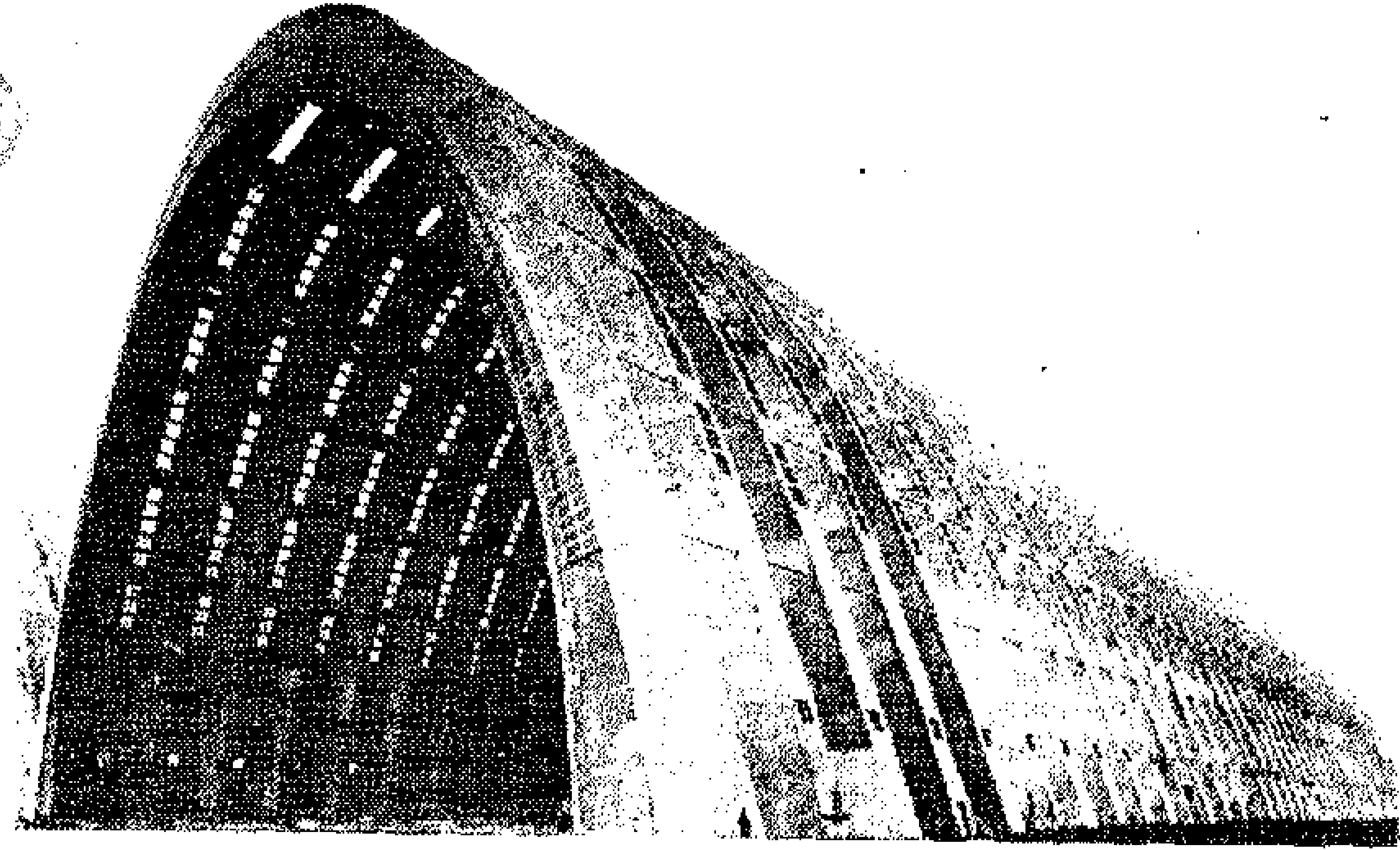


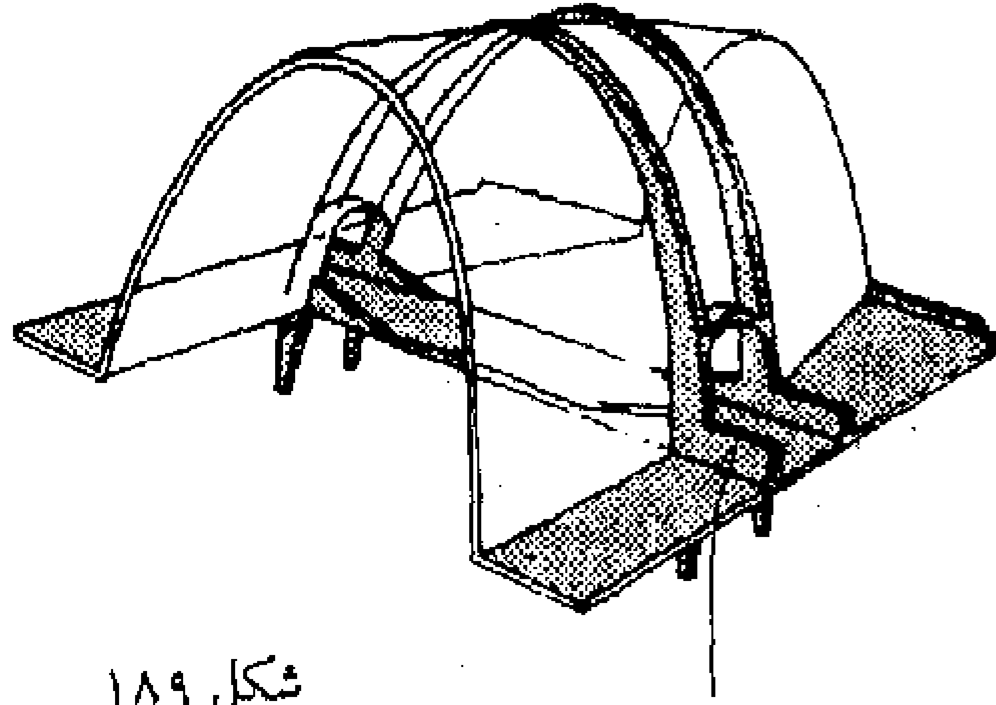


شكل ١٨٦

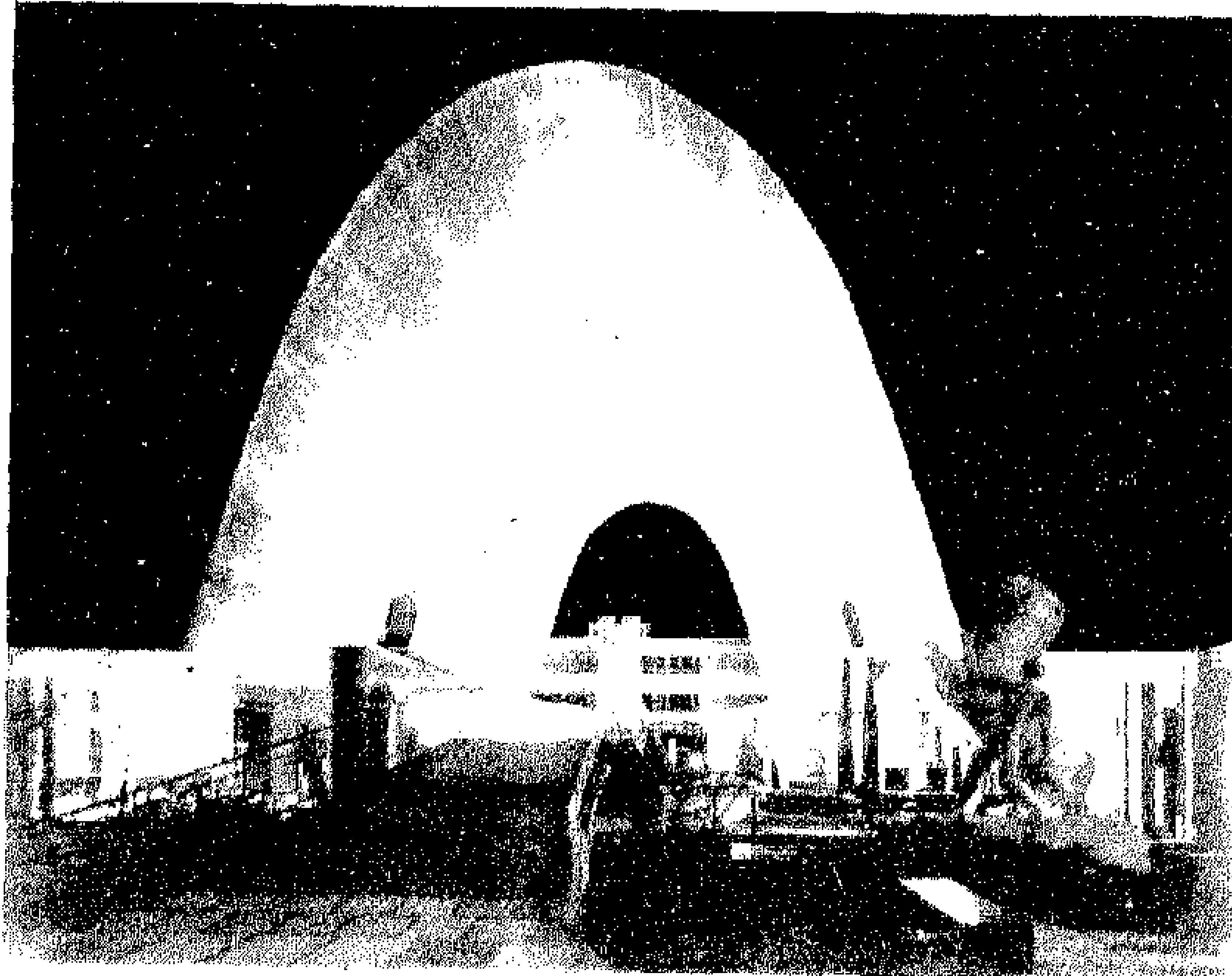

شكل ١٨٧

شكل ١٨٨





شكل ١٨٩

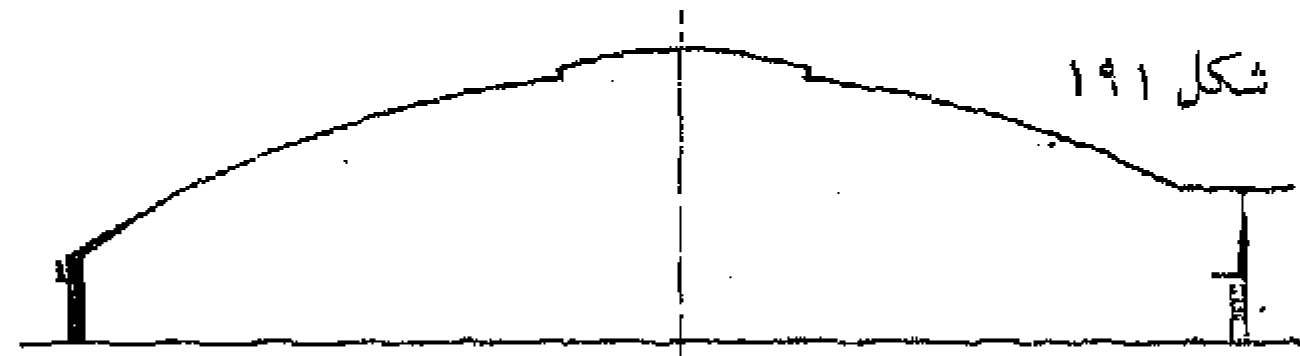


الاستعمالات الأولى للصدفات القشرية

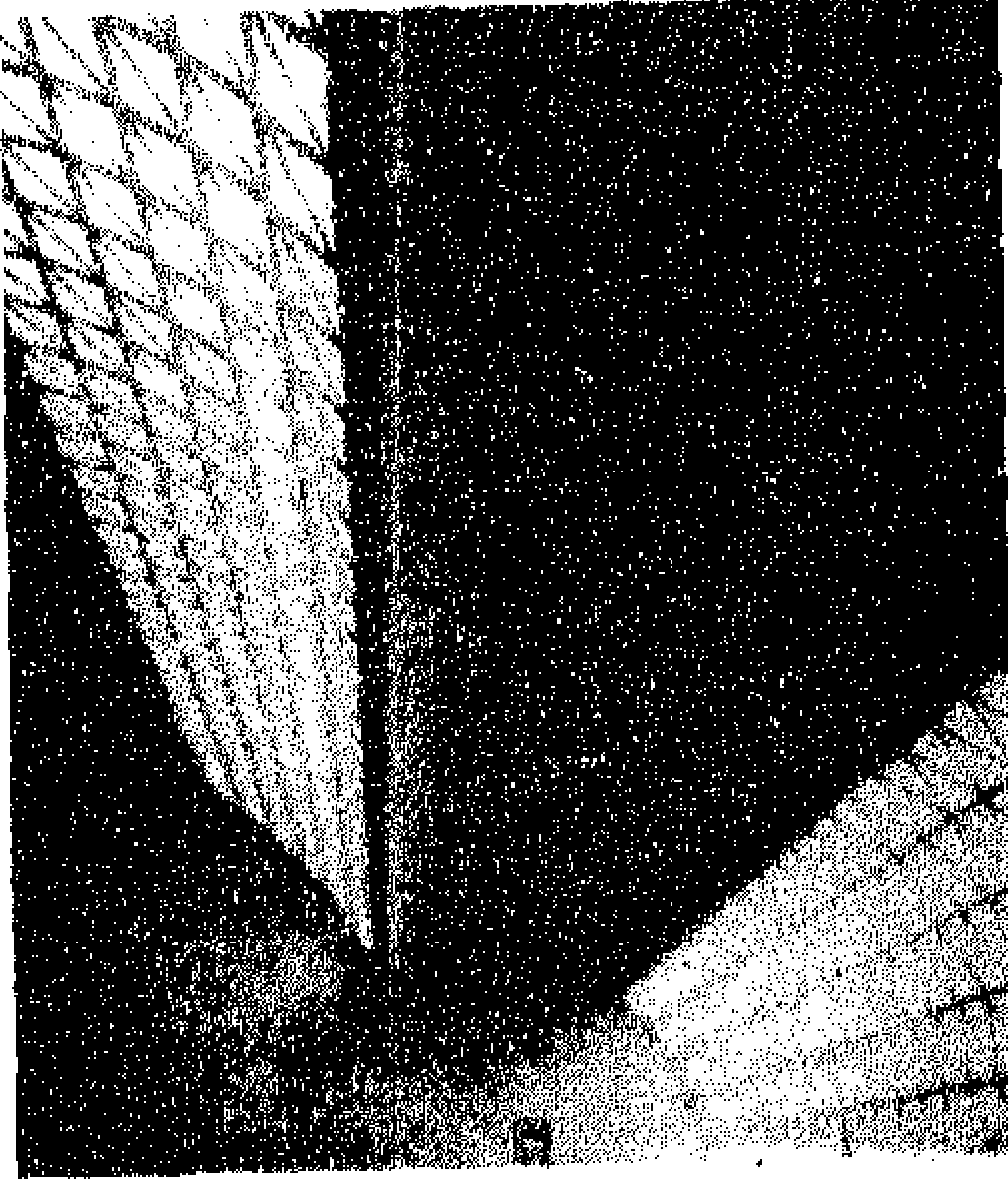
(شكل ١٨٨) حظيرة البالونات فى أورلى بفرنسا سنة ١٩١٦ (البحر ٣٢٠ قدماً والارتفاع ١٩٠٥ قدماً).

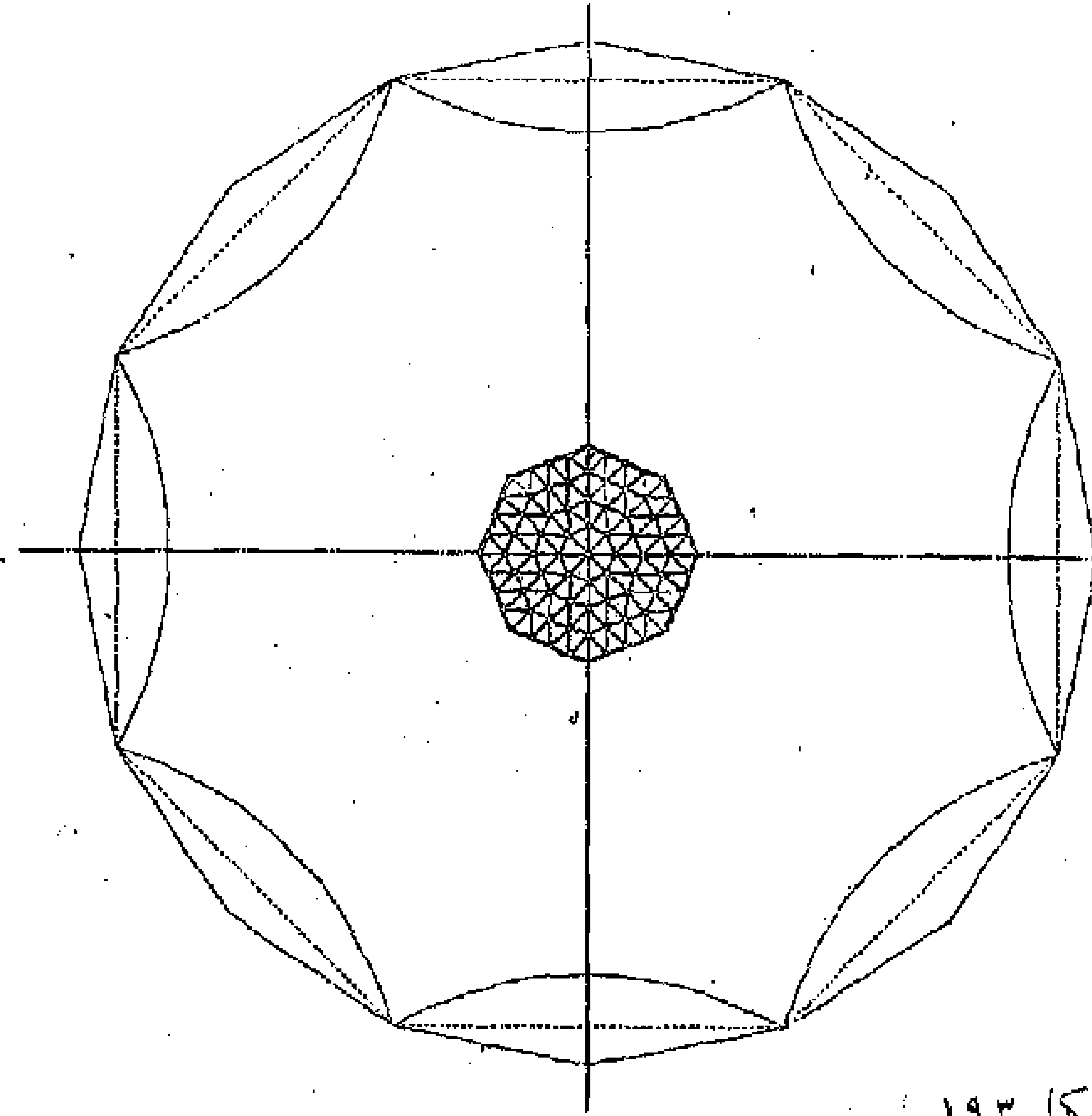
(شكل ١٨٩) جناح صناعة الأسمنت السويسرية فى المعرض السويسرى بزيوريخ عام ١٩٣٩ — المهندس روبرت مايار (البحر ٥٢ قدماً وعشر بوصات والارتفاع ٣٧ قدماً والطول ٧٠ قدماً وسمك الصدفة $٢\frac{٣}{٨}$ بوصة).

شكل ١٩١



شكل ١٩٢

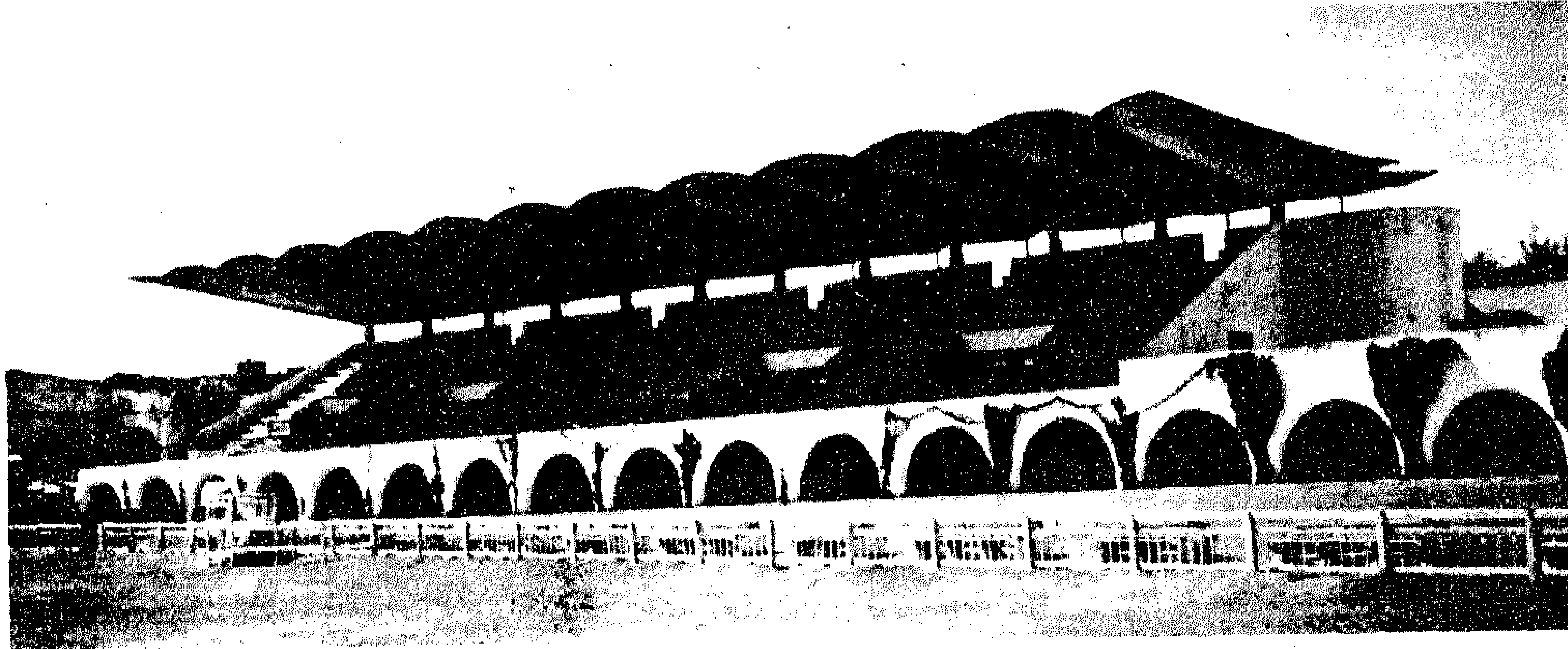




شكل ١٩٠



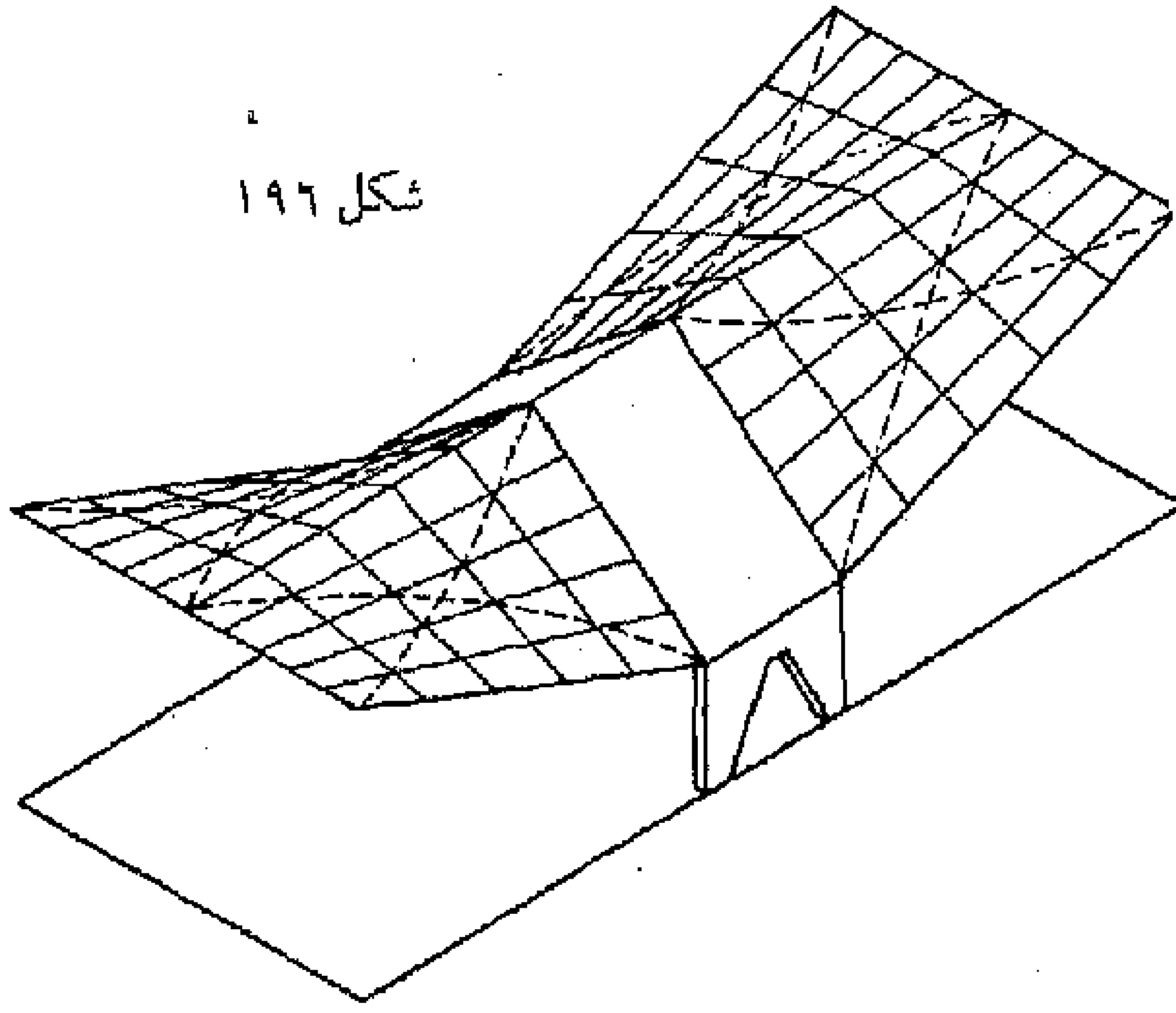
شكل ١٩٣



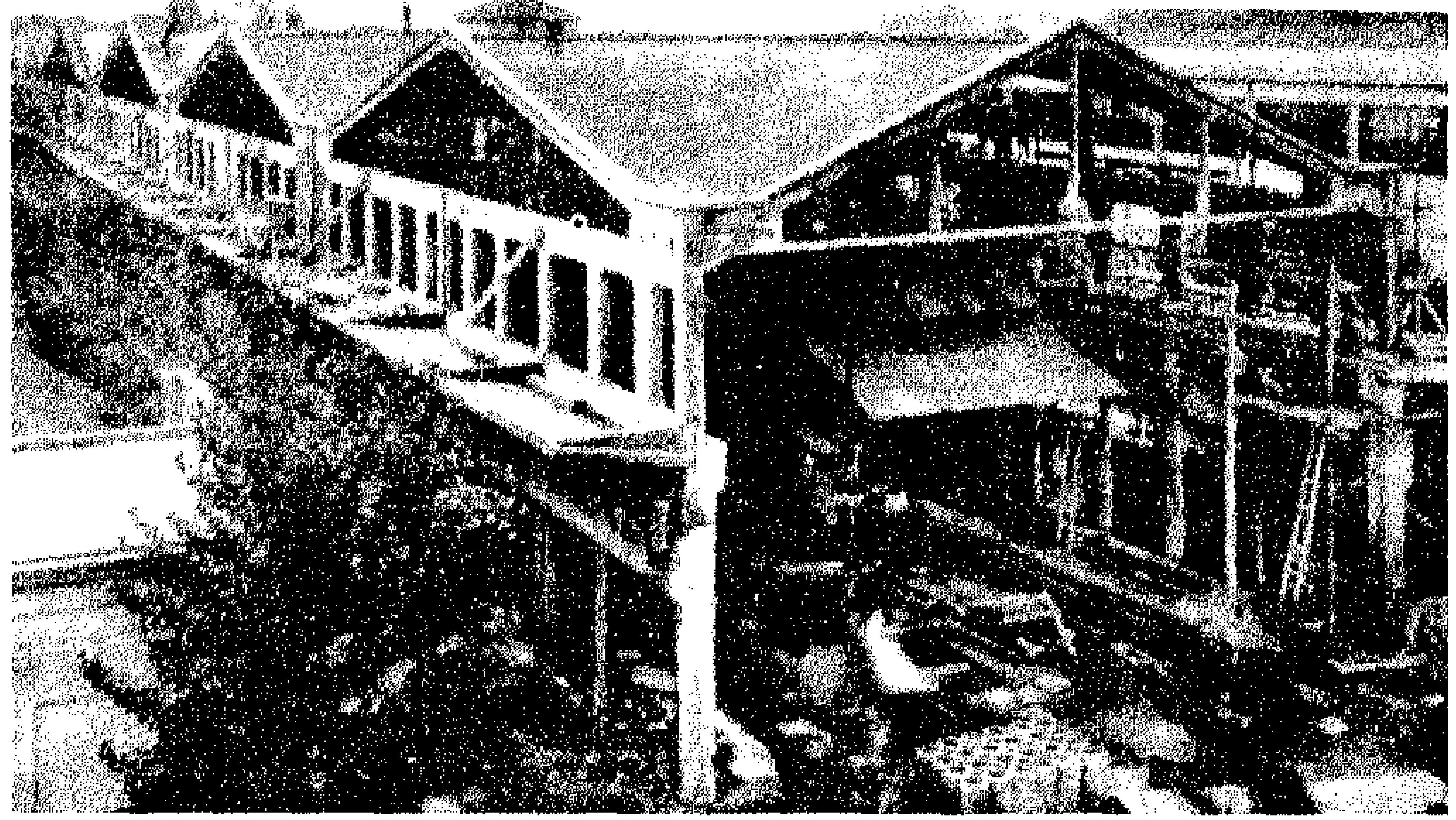
الاستعمالات الأولى للصدفات القشرية ـ أعمال المهندس تروخا

(شكل ١٩٠) السوق فى مدينة الجسيراس بسقفة على شكل قبة بقطر ١٦٠ قدما (المهندس المعمارى د.م. أركاس)
(شكل ١٩١) مسقط أفقى وقطاع .
(شكل ١٩٢) صالة فرنتون ريكوليتوس فى مدريد فى سنة ١٩٣٤ (١٨٠ قدما طولا و ١٠٧ أقدام عرضا)
(شكل ١٩٣) مدرجات حلبة سباق زارزويلا فى مدريد سنة ١٩٣٥ .

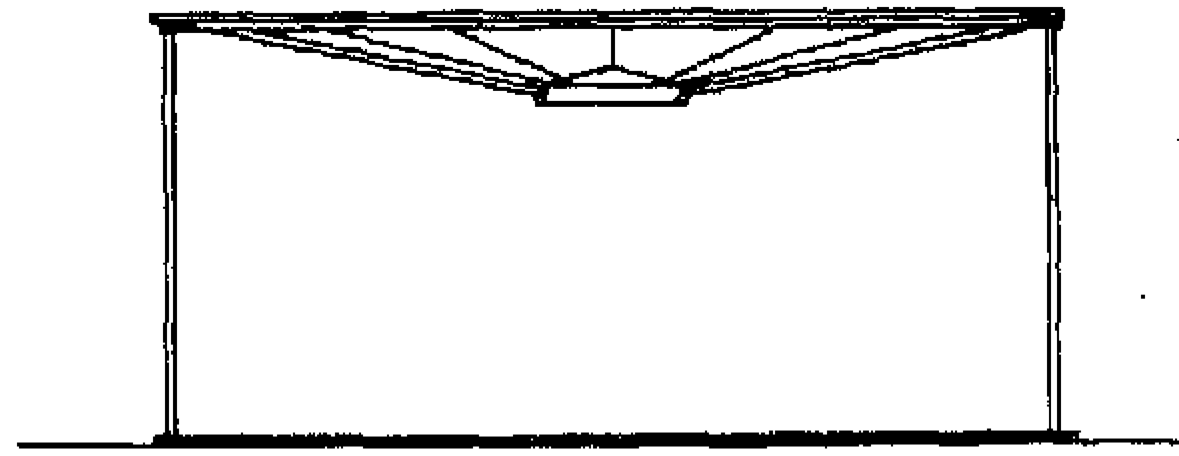
شكل ١٩٤



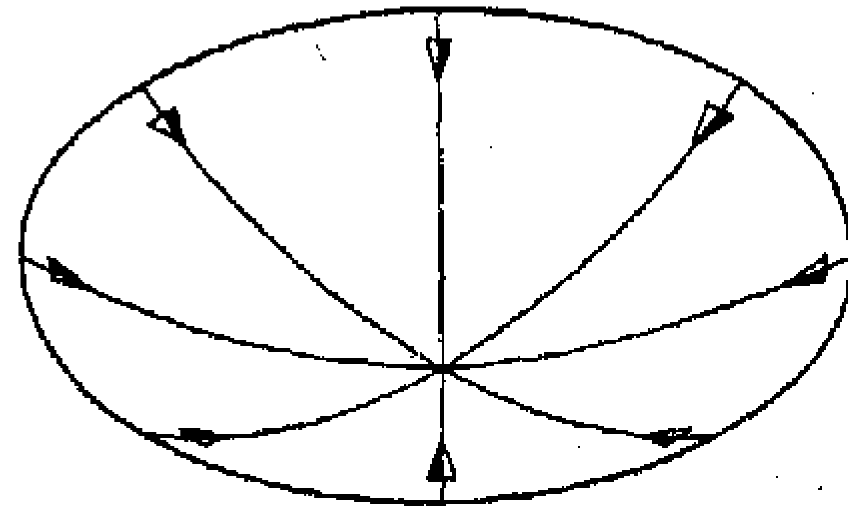
شكل ١٩٦



شكل ١٩٥



شكل ١٩٧





الاستعمال الحديث الأول للأغشية المعلقة

(شكل ١٩٧) مبنى معرض فى زغرب سنة ١٩٣٣ – المهندس برنارد لافاى .

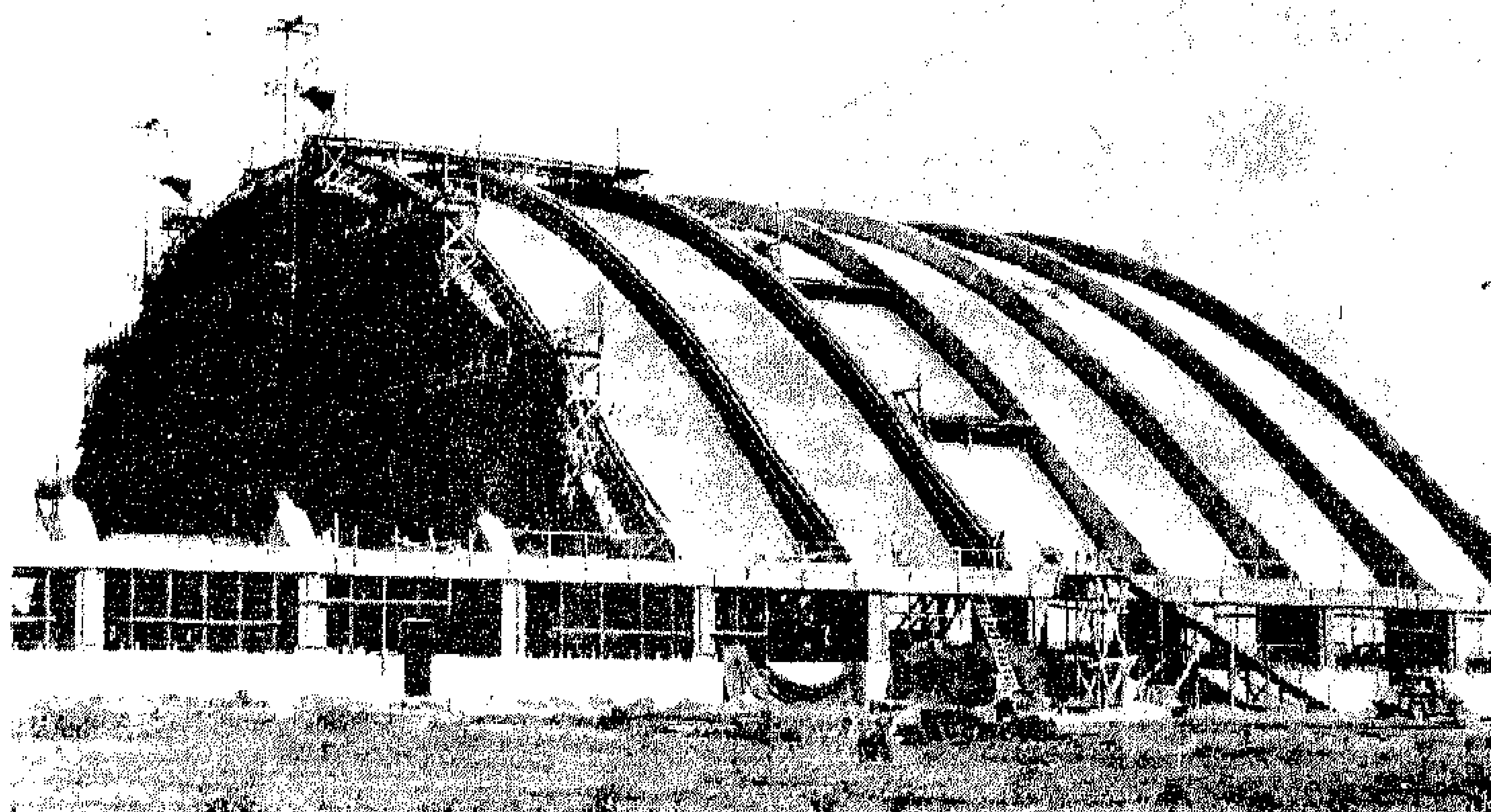
الاستعمالات الأولى للقطاع الزائدى المكافىء

(شكل ١٩٤) سقيفة تخزين لمصانع الفا روميو بميلانو – المهندس جيورجيو باروني .

(شكل ١٩٥) سقف مخزن فى مدينة فيرارا للمهندس جيورجو باروني .

(شكل ١٩٦) سقف تجريبى فى درو سنة ١٩٣٣ للمهندس برنارد لافاى .

شكل ١٩٨



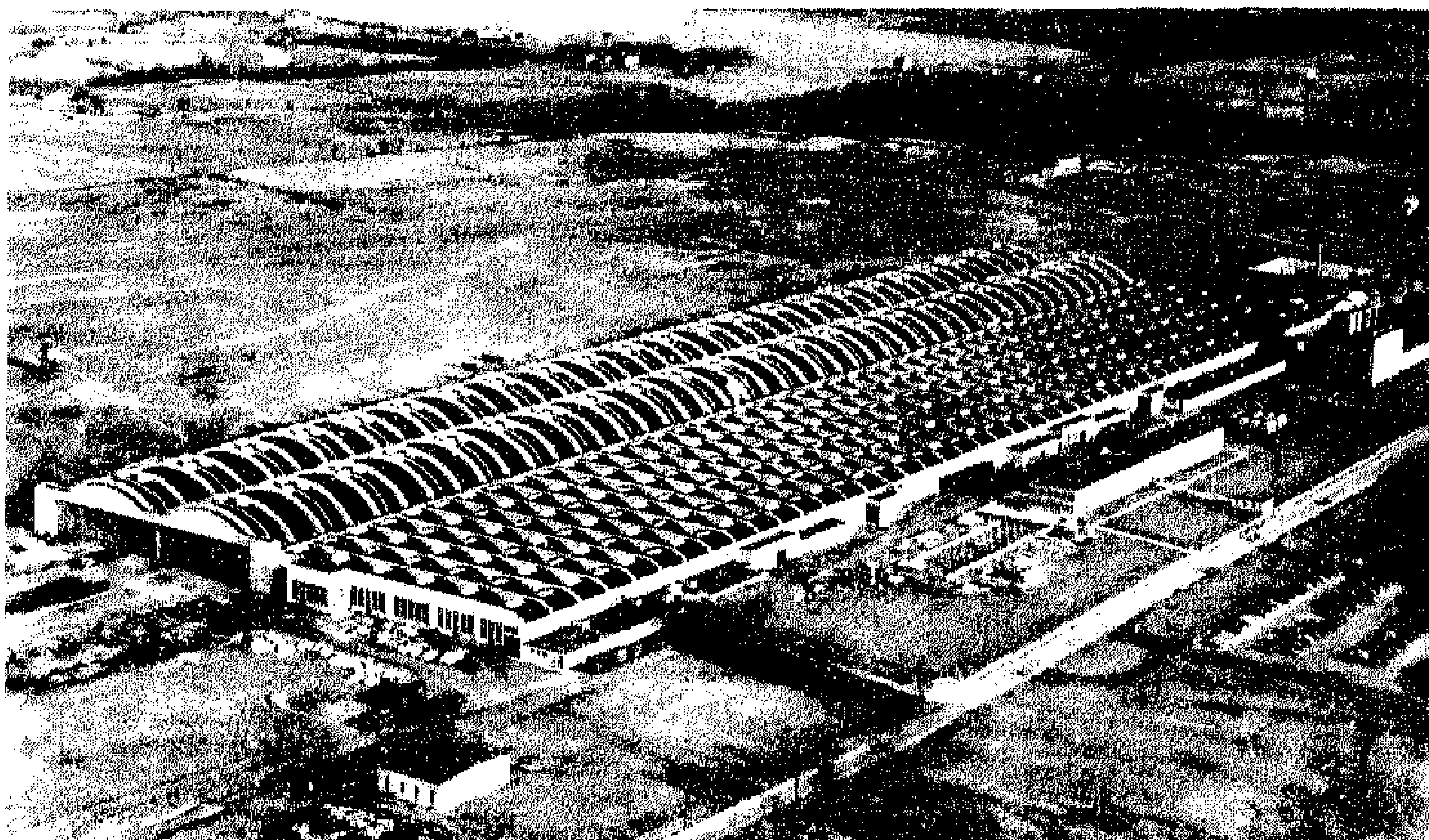
الاستعمالات المبكرة للصدفات القشرية فى أمريكا

(شكل ١٩٨) حظيرة طائرات السلاح الجوى الأمريكى فى رابيد سيتى بداكوتا الجنوبية وأخرى فى مدينة لايمستون بولاية مين سنة ١٩٤٩ (بحر ٣٤٠ قدما) .

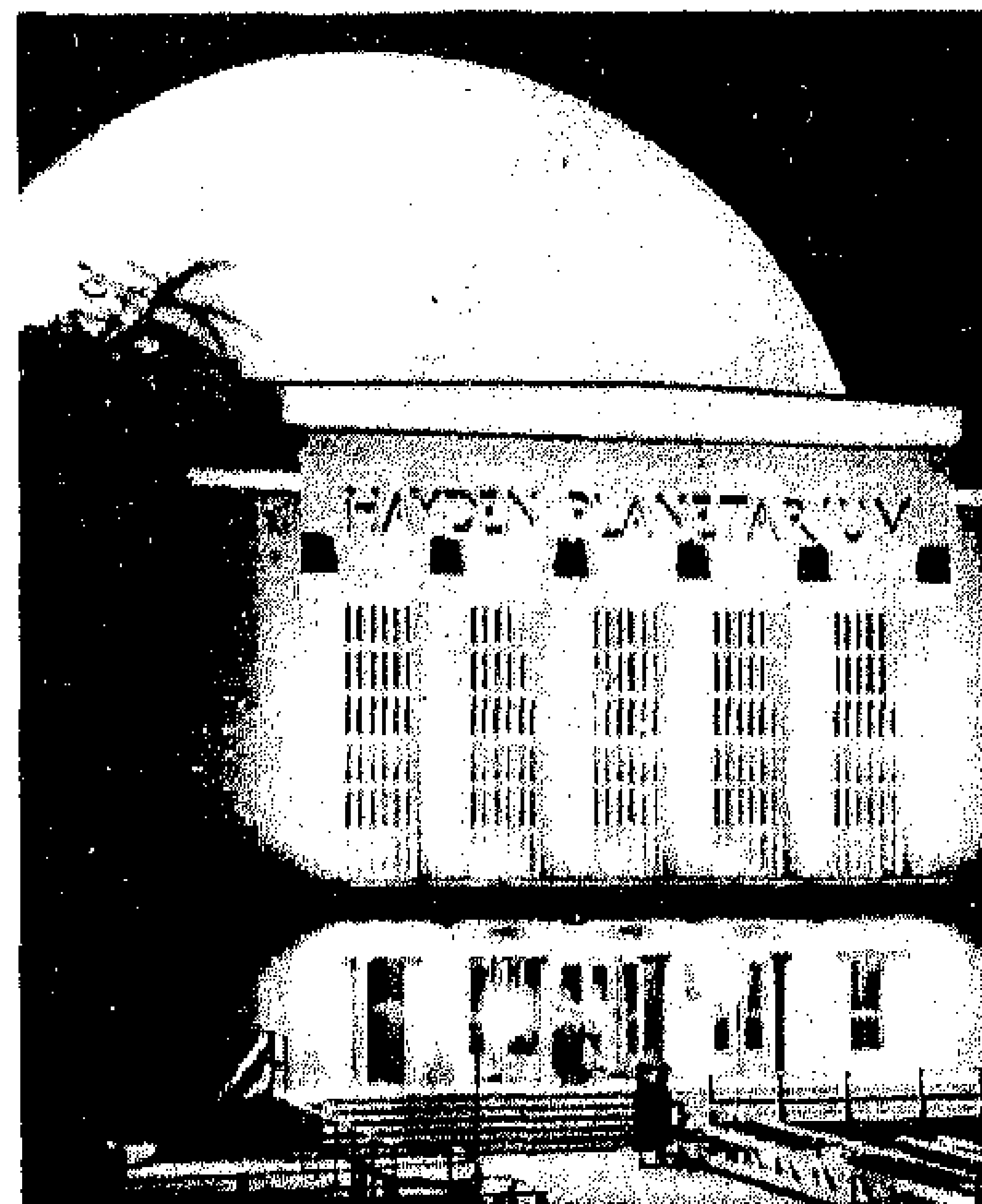
(شكل ١٩٩) مصانع شركة باد بفلادلفيا (بحر الباكيات الرئيسية ١٢٠ قدما) .

(شكل ٢٠٠) قبة المعرض الفلكى هايدن بمدينة نيويورك سنة ١٩٣٥ .

شكل ١٩٩



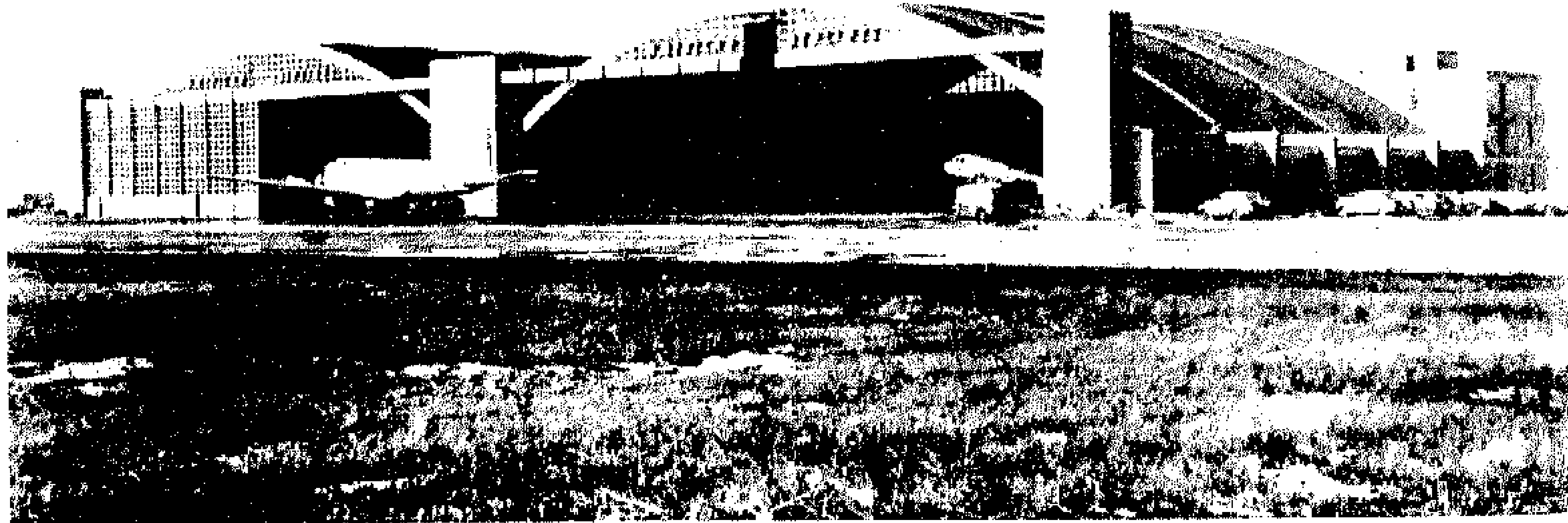
شكل ٢٠٠



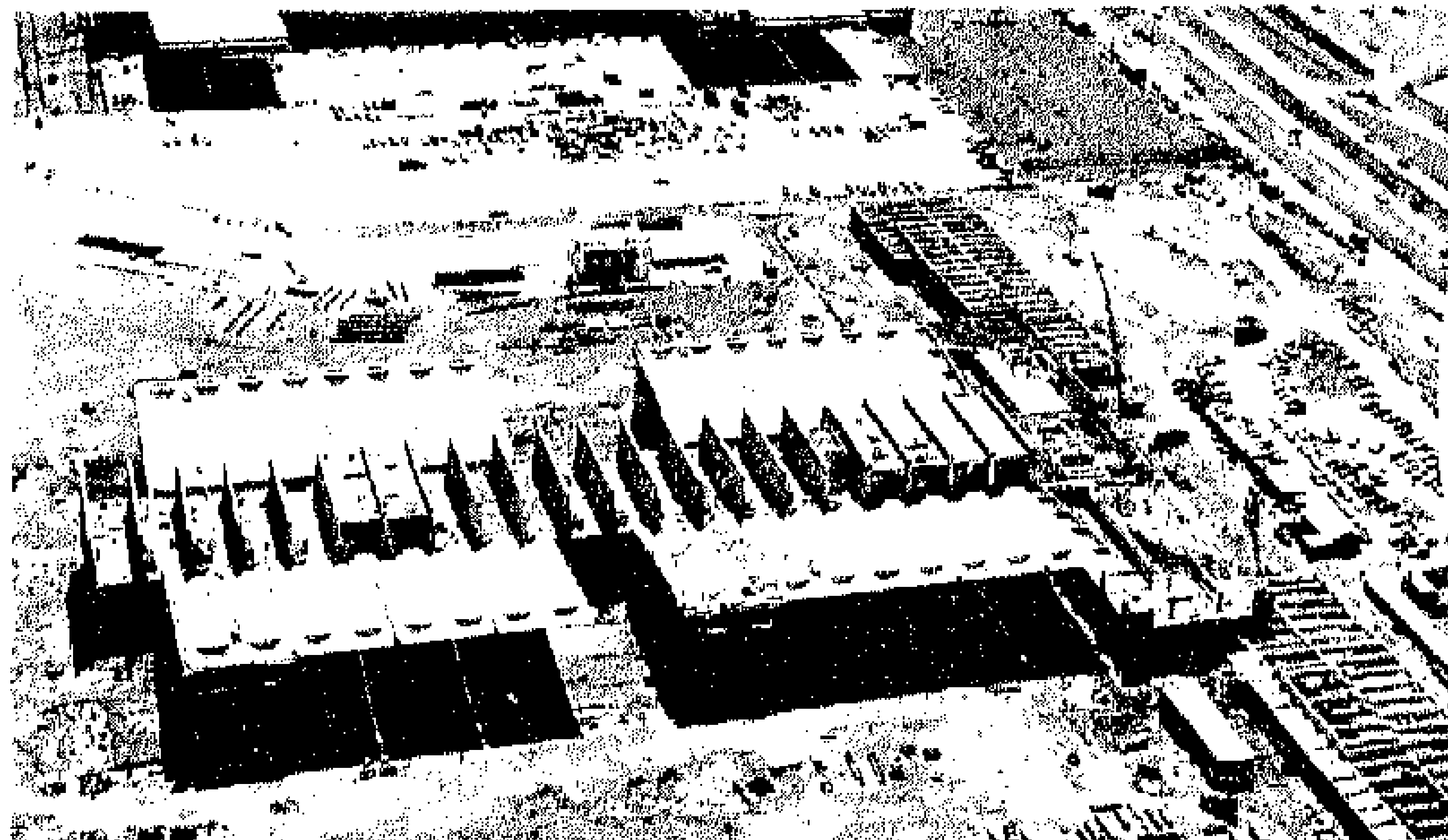
شكل ٢٠١



شكل ٢٠٢



شكل ٢٠٣



الاستعمالات المبكرة للصدفات القشرية فى أمريكا

(شكل ٢٠١) حظيرة طائرات شركة الخطوط الجوية العالمية والمكاتب الملحقة بشيكاجو بولاية الينوى ١٩٤٨ .

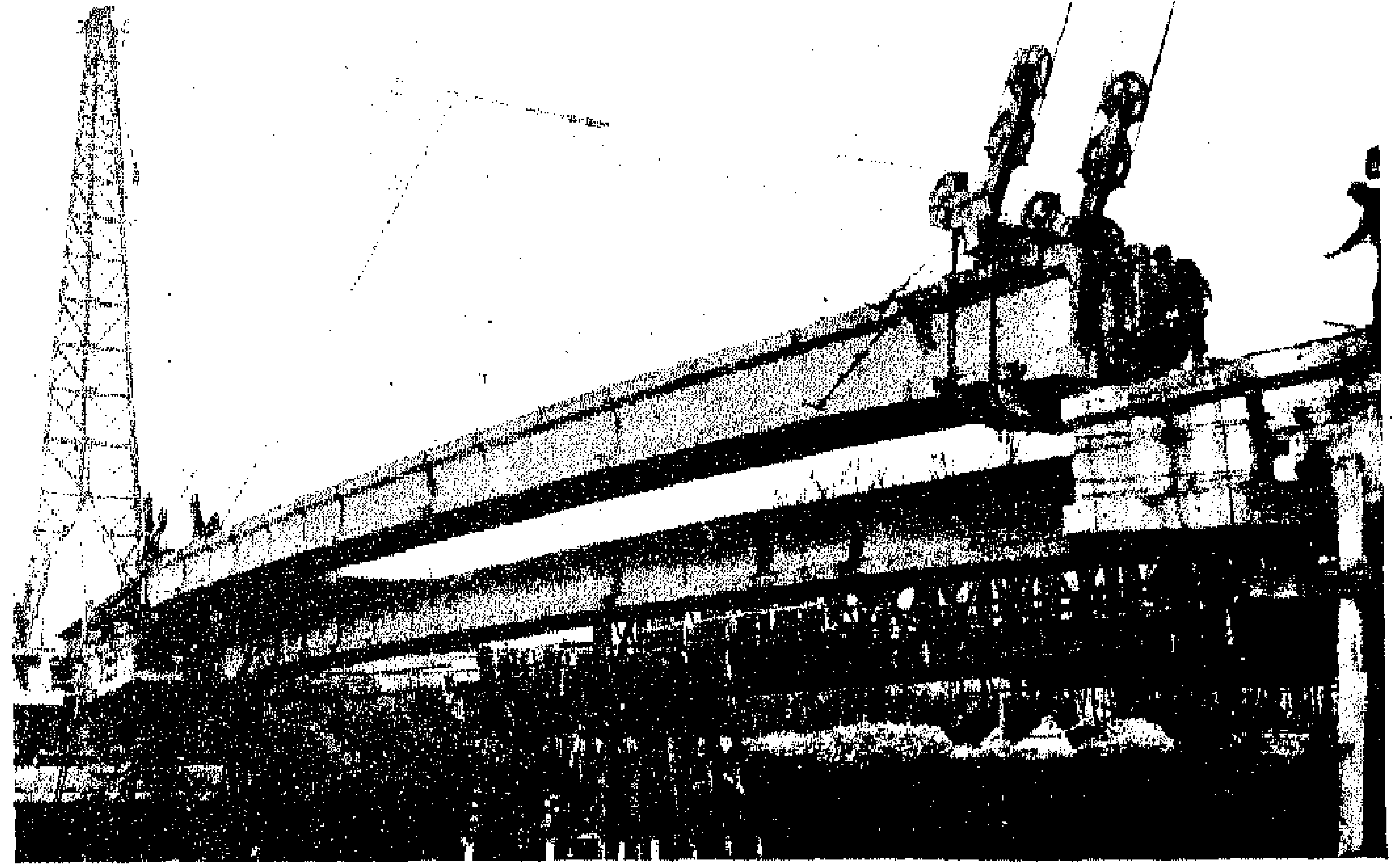
(شكل ٢٠٢) حظيرة طائرات شركة الخطوط الأمريكية والمكاتب الملحقة بشيكاجوسنة ١٩٤٦ .

(شكل ٢٠٣) حظيرة طائرات شركة الخطوط الجوية العالمية فى مطار أيدل وايلد بمدينة نيويورك .

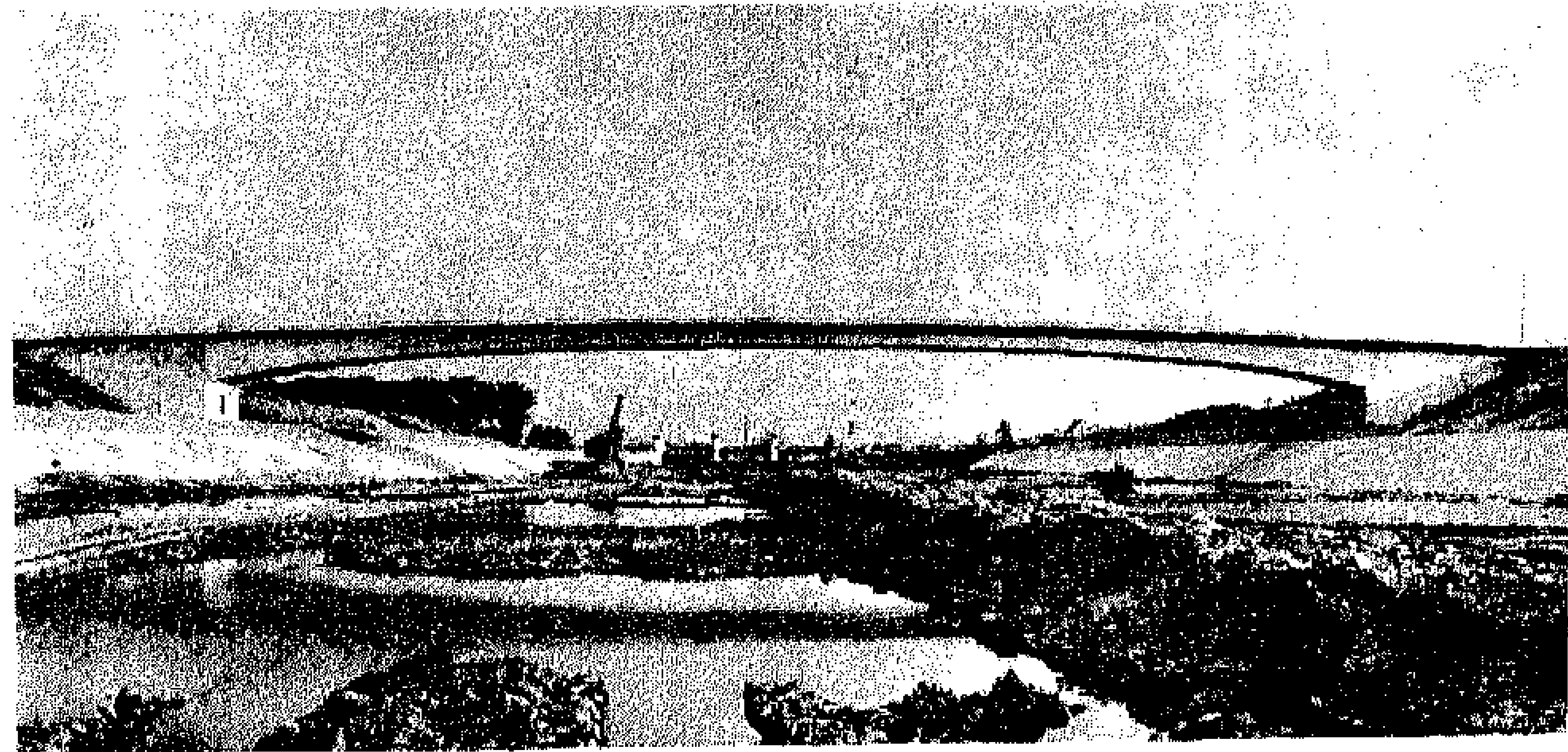
الخرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد – الوحدات الخطية

(شكل ٢٠٤) كوبرى إسبى بفرنسا – طريقة فريسيئية.
(شكل ٢٠٥) كوبرى على نهر نكبار فى مدينة هايلبرون بألمانيا – طريقة دكتور ليون هاردت .
(شكل ٢٠٦) مشروع كوبرى طريق الدستور فوق نهر البتوماك بمدينة واشنجطن (١١ باكية كل منها ١٨٤ قدما بإنشاء مستمر) .

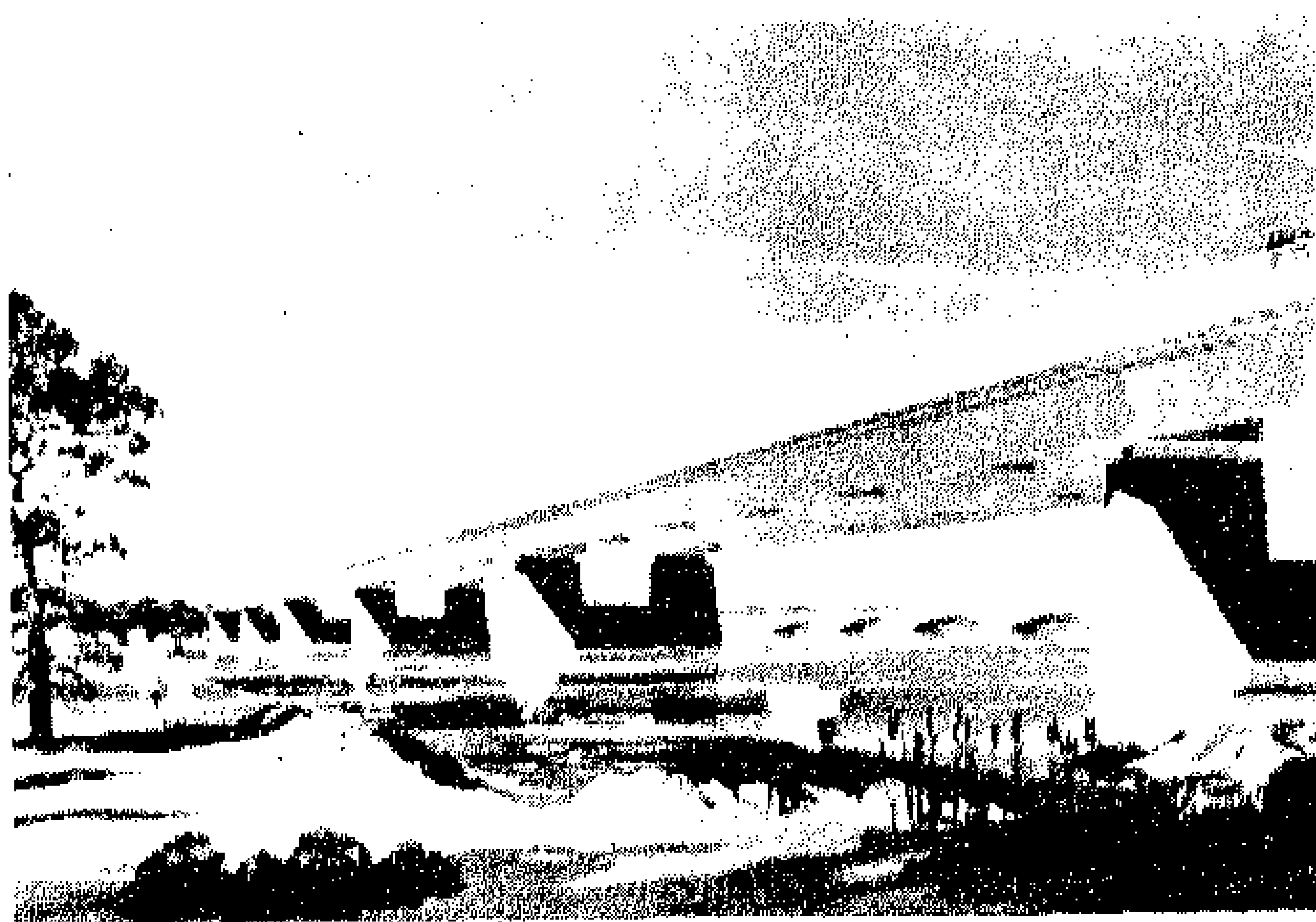
شكل ٢٠٤



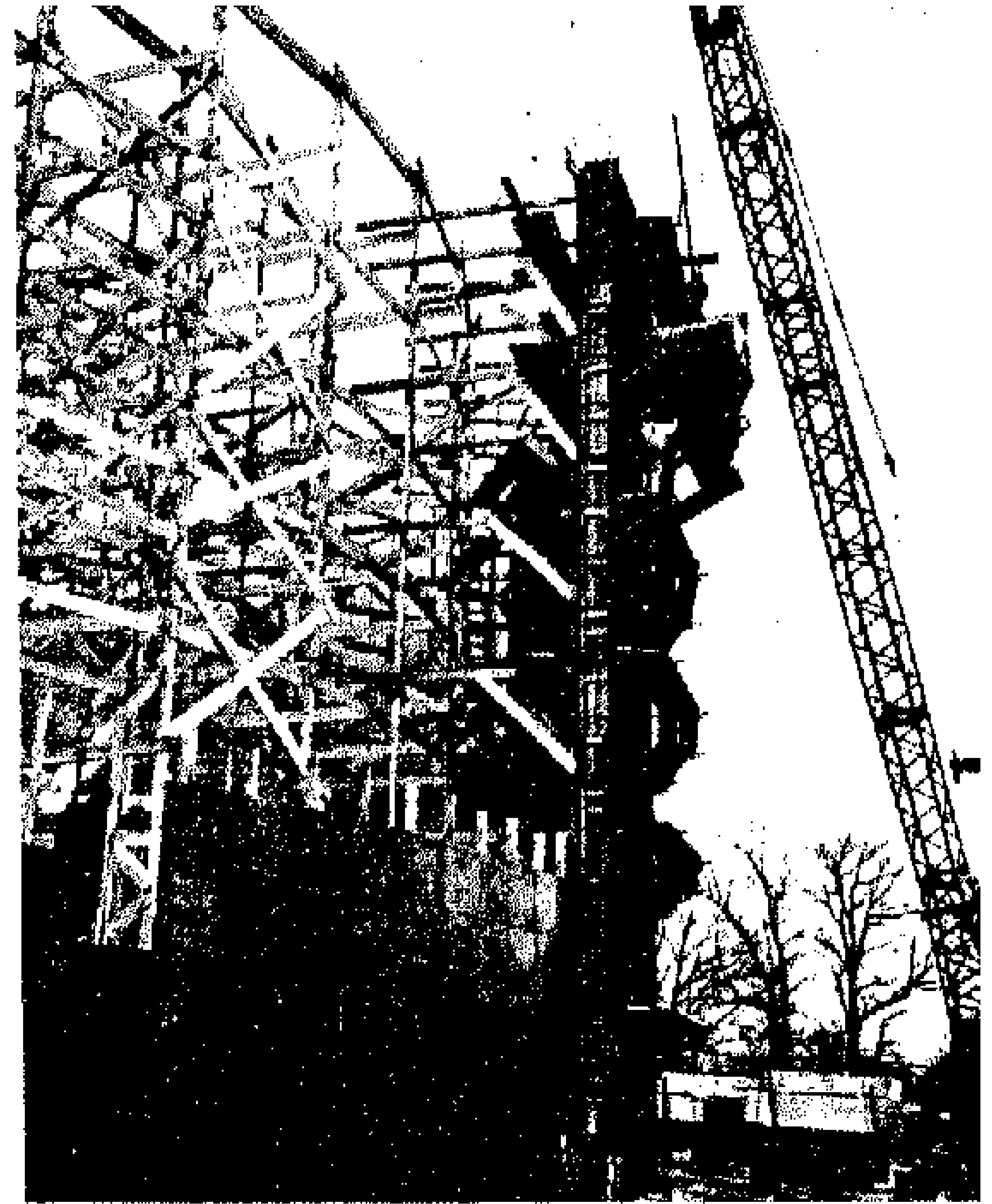
شكل ٢٠٥



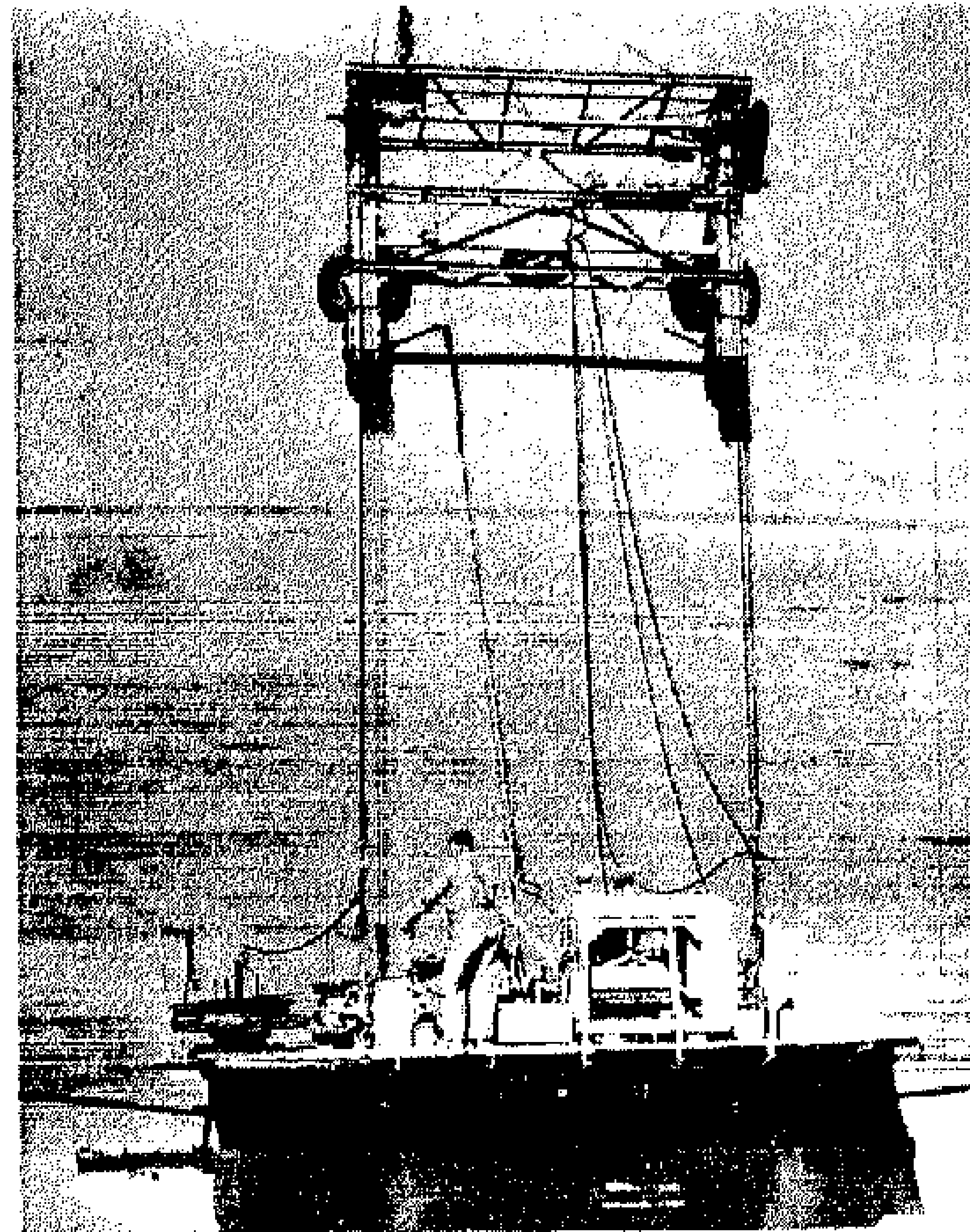
شكل ٢٠٦



شكل ٢٠٧



شكل ٢٠٨



الخرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد ـ الأسطح الدورانية الفعالة

(شكل ٢٠٧) إقامة الصلبات لخزانات مياه في أمريكا بقطر داخلي ٢٩٢ قدماً ـ طريقة شركة بريلود .

(شكل ٢٠٨) الشد اللاحق للحوائط الخرسانية للخزان من عربة متحركة على المحيط .

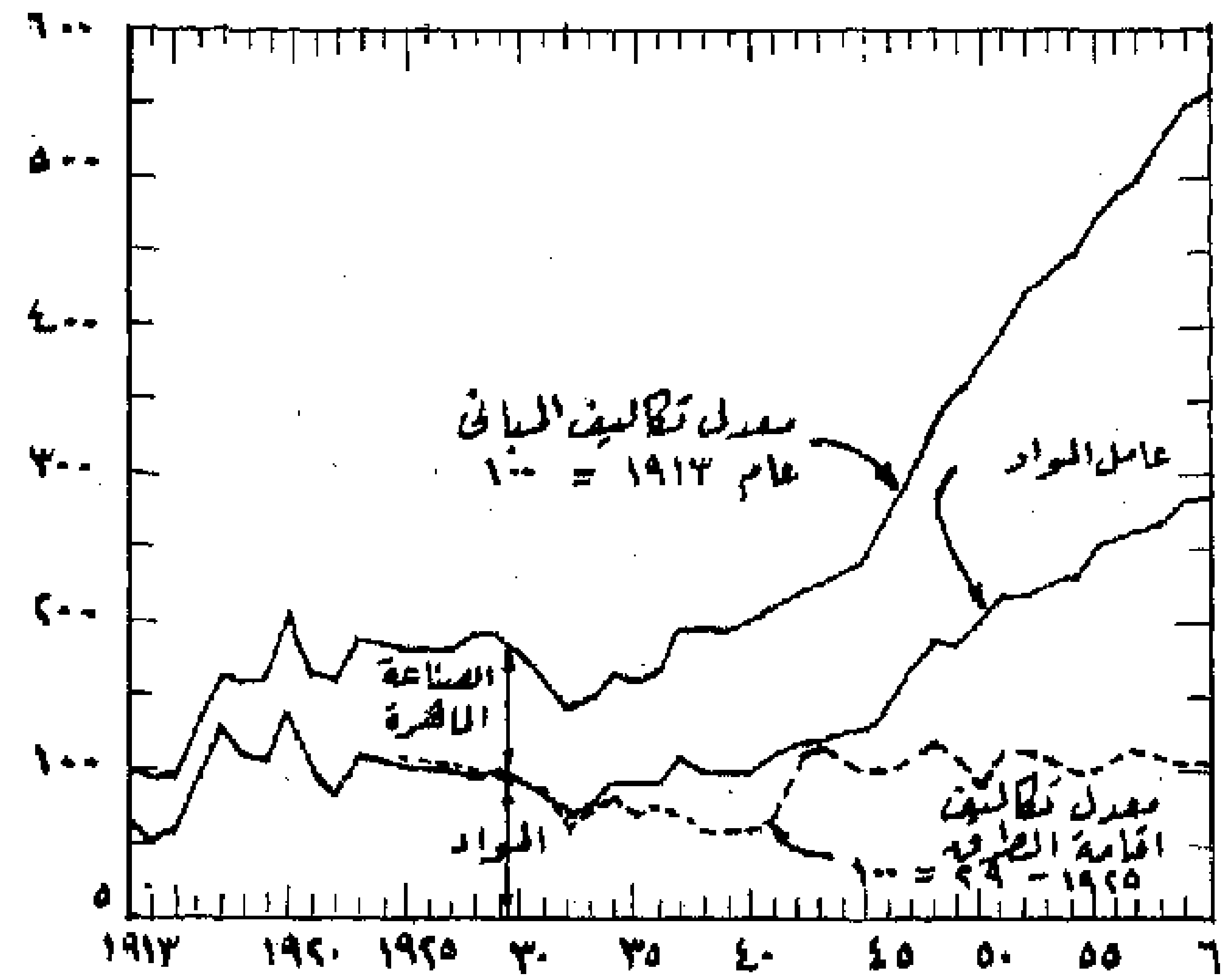
(شكل ٢٠٩) تغطية حديد الإجهاد الدائري بالمونة المندفعة من مسدس خاص .

شكل ٢٠٩



الخرسانة سابقة ولاحقة الإجهاد — الأسطح الدورانية الفعالة

(شكل ٢١٠) القبة القشرية لصالة الإستاد المقفلة فى هافانا بكوبا ذات حلقة الشد المحيطية سابقة الإجهاد قطر الصالة ٢٩٤ قدماً — عدد المقاعد ١٤٫٥٠٠ مقعد المهندسون المعماريون أريو ومينديز .



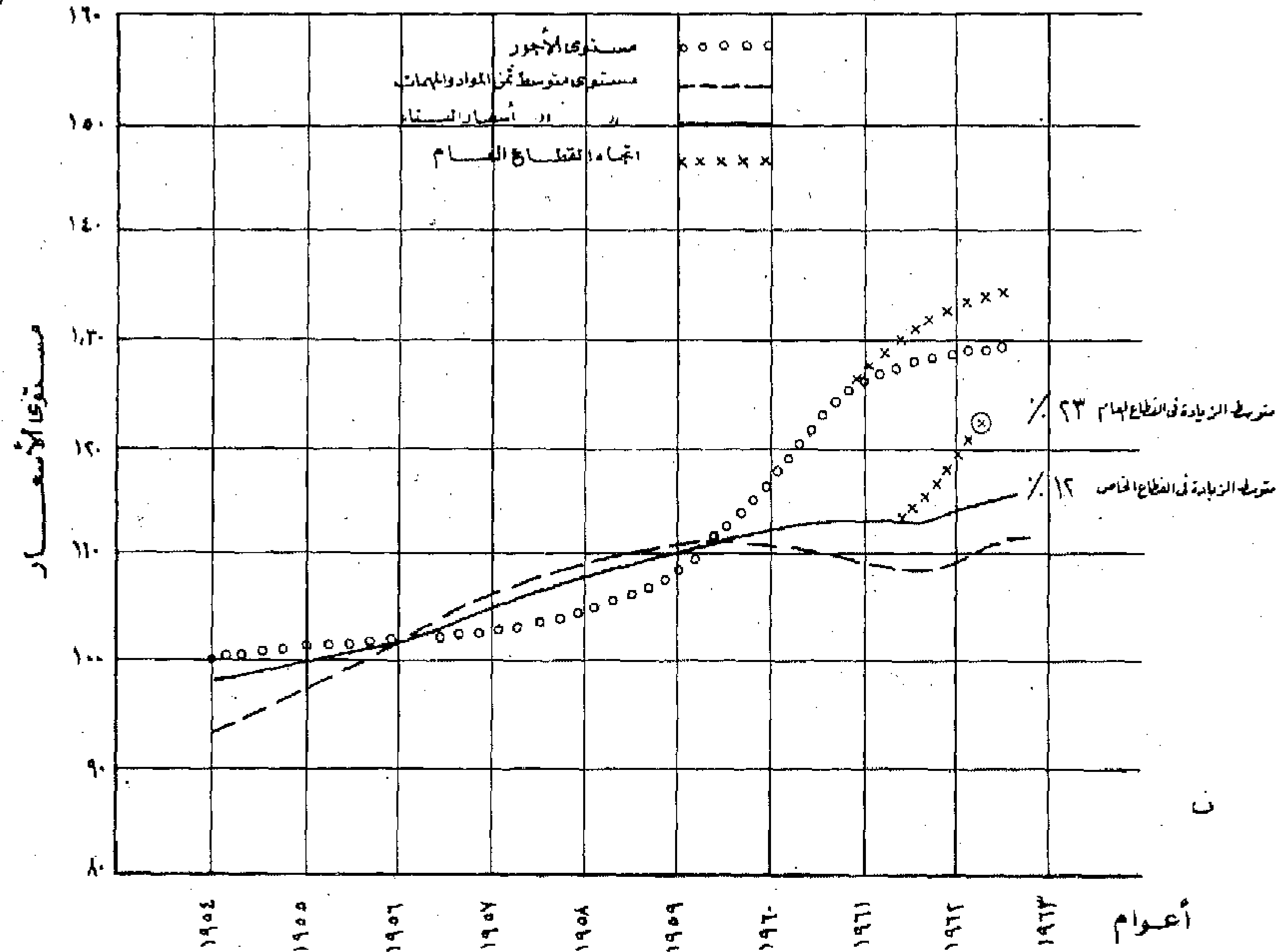
أ

معدلات الزيادة فى أسعار مواد البناء والعمالة فى أمريكا والجمهورية العربية المتحدة

(شكل ٢١١ أ) معدل زيادة تكاليف البناء الأمريكية موضحاً عامل العمالة والمواد وقد أضيفت تكاليف رصف الطرق .

(شكل ٢١١ ب) معدل الزيادة فى الجمهورية العربية المتحدة فى فى القطاعين العام والخاص .

شكل ٢١١



ب

الجزء الثاني

الجزء الثانى

عمارة الخرسانة المسلحة

٦

الخرسانة المسلحة والإنشاء

إن ما تتميز به الخرسانة المسلحة من صفات المرونة وتقبل التشكيل وتحمل الضغط والشد يجعلها مفتوحة أمام معظم التكوينات الإنشائية على درجات متفاوتة من الكفاية الإنشائية . المقصود بالكفاية الإنشائية هنا كفاية استغلال المادة إنشائياً ، وهذا لا يرتبط بالكفاية الإقتصادية النهائية فى جميع الحالات حيث تتداخل فى الأخيرة عدة عوامل اقتصادية محلية متغيرة بجانب الوفر فى المادة ، كالإمكانيات الإنشائية والعمالية ومدة التنفيذ ونحو ذلك . وهناك أنواع من التكوينات الإنشائية تستغل خواص الخرسانة المسلحة إلى أقصى حدودها بحيث تصل بها إلى كفايتها الإنشائية فى حين تتجاهل تكوينات أخرى تلك الخواص ويكون استعمالها مقبولاً تحت ظروف الإمكانيات العملية التنفيذية أو احتياجات الفراغ المعمارية .

ومن الناحية الإنشائية البحتة نجد أن الخرسانة بلدونتها وسهولة تشكيلها تفتح مجالات واسعة للتشكيل المناسب للكفاية الإنشائية ، وقد أصبح أمام المصمم بالخرسانة فرص أوسع لتحقيق أشكال وأوضاع معينة تضمن أحسن توزيع للجهود وأحسن استغلال للمادة الإنشائية . وهنا تكون قوة المنشأ نتيجة لشكله ووضعه الملائم بالنسبة للجهود، بدلا من كتلته ومدى مقاومته عن طريقها للأحمال الحية والميتة المتضخمة* . ومن الواجب أن يكون هذا المبدأ هدف كل تصميم بالخرسانة المسلحة، وهو الذى يحكم تكوين وتشكيل معظم الأغلفة العضوية فى المملكة الحيوانية والنباتية** . كما أنه هدف من أهداف مصممى الإنتاج الصناعى المعاصرين***

فى هذا الفصل سوف نستعرض التكوينات الإنشائية الممكنة والمستوحاة بالخرسانة المسلحة ، وسوف نتتبعها فى تسلسل نظرى نحو ذروة الكفاية الإنشائية . هذا التسلسل يبدأ من أبسط التكوينات بالعمود والكمرة التى تعمل فيها كل وحدة بمفردها كوحدات انضغاط ، أو كوحدات معرضة لعزوم انحناء تعمل فيها الطبقات العليا والسفلى فقط إلى أقصى إمكانياتها فى حين لا يتعرض باقى القطاع حول المحور

---

* الفرق هنا بين الاتجاهين كالفرق بين المصارعة اليابانية التى تعتمد على الأوضاع التى يتخذها المصارع بالنسبة لخصمه والمصارعة الرومانية التى تعتمد أساساً على قوة عضلات ووزن المصارعين .

** تحفظ أغلى وحدة فى البقاء الحيوانى على الأرض وهى الجنين (Embryo) فى غلاف متماسك وهو البيضة . كما تحاط الثمار اللينة والحبوب بأغلفة صلبة كما فى ثمار البندق وجوز الهند وعائلة البامبو وهذه لها أغلفة مستمرة تعطيها صلابتها المعتادة .

*** التطور الصناعى فى القرن العشرين اتجه بالعربة الأولى ذات التصميم الهيكلى المجمع إلى عربة النوم ذات الهيكل الصلب المتكامل وفيه يلتحم السقف بقوة مع جميع الأجزاء الأخرى — كذلك نرى الإنشاء المتماسك المستمر فى قاذفة القنابل المسكيتو وفى عربات السكك الحديدية الصلب . كما يتطور تصميم الأثاث إلى الإنشاء بالأسطح المستمرة الحاملة .

إلا لأحمال تمثل نسبة ضئيلة من هذه الإمكانيات . وبالاستمرار المادى الذى يوفر التماسك بين وحدات المنشأ تقل هذه العزوم لاشتراك جميع أجزاء المنشأ فى مقاومة الأحمال . وبتكامل الاستمرار الهندسى* تتكون منشآت مقفلة قادرة على حمل الأحمال الرأسية والأفقية ، وفيها تتحول عزوم الانحناء إلى إجهادات محورية بالشد أو الضغط تعمل جميع قطاعات المنشأ فى مقاومتها . وبالخرسانة المسلحة وإمكانياتها فى تكوين المسطحات الفعالة يتطور المنشأ لتحقيق الاستمرار المادى والهندسى فى اتجاهين بدلا من اتجاه واحد كما فى حالة الوحدات الخطية ، ومن ثم يتم توزيع الإجهادات بالتساوى على جميع أجزاء القطاع ويصل المنشأ إلى أفضل استغلال للمادة المستعملة .

وطبيعة الخرسانة المسلحة تجعل التماسك المادى صفة أصيلة فيها دون حاجة لربط أو لحامات أو أى تجهيزات أخرى . وكمادة تقبل التشكيلات المختلفة يكون الاستمرار الهندسى سهلا ومتاحاً ما دامت تسمح به احتياجات الفراغ المعمارية وإمكانيات التنفيذ التى تؤثر بالتالى على اقتصاديات المنشأ . ومع ذلك فما زالت ظروف التنفيذ ونوع الفراغات المطلوبة واقتصاديات المنشأ النهائية تستوجب تكوينات إنشائية تبدأ من الوحدات الخطية المنفصلة بالعمود والكمرة إلى الشكل الشرنقى ذى الاستمرار المطلق (Monocoque). والإنسان فى تغليفه للفراغ منذ بدء الخليقة قد استعمل مواد إنشائية مختلفة فى حدود إمكانياتها وإمكانياته لتشكيلها ونقلها وتجميعها . فالحجارة المتباينة القوة فى الضغط المعدومة القوة فى الشد ، استعملها فى أنسب أوضاعها كحوائط وأعمـــدة وعقود . غير أنه استعملها ضخمة كبيرة الوزن والعمق ككمرات صغـــيرة البحور وأعمدة متلاصقة فى العمارة الفرعونية فجاءت تعبيراً عن طبيعة الحجر القوى فى الانضغاط الضعيف فى الشد . وعندما استعمل الخشب أو الحديد أو الصلب ككمرات أو جمالونات اتسعت البحور وبعدت الأعمدة والحوائط .

إلى هنا والوحدات الإنشائية خطية (Linear elements) ، وهى بحكم طبيعتها كمرات ذات طول أكبر كثيراً من عمقها وعرضها (شكل ٢١٢) والحمل الواقع على كمرة ينتقل إلى الأعمدة خلال محور الكمرة سواء أكانت مستقيمة أم منحنية . وهذه تسمى وحدات إنشائية خطية وحيدة الأبعاد (One-Dimentional). وبظهور الخرسانة المسلحة ازدادت إمكانيات تنفيذ الوحدات الإنشائية السطحية (Surface elements) (شكل ٢١٣) . وهذه يزيد طولها وعرضها كثيراً على عمقها ، وهى ذات إمكانية فى تحمل قوى الانضغاط والشد فى اتجاهين .

* الاستمرار الهندسى يتوفر لمنشأ إذا كان تغير اتجاهات المماسات على نقاط متتابعة عليه تدريجياً .

الفرق بين الوحدات الخطية والسطحية أن الأولى ذات تماسك واستمرار مادى فى اتجاه واحد ، فى حين أن التماسك والاستمرار المادى فى الثانية ذو اتجاهين .

التكوينات بالوحدات الخطية :
Linear Structural Arrangement

الوحدات الخطية فى هذه التكوينات تؤلف الهيكل الإنشائى ، وتضاف إليها فيما بعد المسطحات المغلقة كالبلاطات أو الحوائط كحشوات لاتسهم فى تقوية المنشأ بأكمله ، بل على النقيض تكون فى ذاتها أحمالا إضافية ميتة .

منشآت العمود والكمرة :
Post and Lintel Structures

العمود هنا وحدة رأسية مضغوطة بالكمرة — وهى تتعرض لقوى أفقية نتيجة للرياح ، ومقاومتها تتأتى من كتلتها فى حالة الأعمدة الحجرية ومن إمكانية لمقاومة الانحناء فى حالة الخشب والحديد والخرسانة . ومن الواجب فى هذه الحالة عمل وصلة بسيطة بين العمود والكمرة حتى لاترفع الرياح السقف . الكمرات الرئيسية فى هذه الحالة معرضة لعزوم انحناء كبيرة وخاصة بالنسبة للبحور الواسعة مما يتطلب استعمال أعماق كبيرة للكمرات إلا فى حالة استعمال سبق الإجهاد . والكمرات الرئيسية ليس بينها و بين الكمرات الفرعية والبلاطات والأعمدة أى استمرار مادى أو هندسى (أشكال من ٢١٤ إلى ٢١٦) وقد قدر البروفسور ماسور (E.F. Masur) من معهد الينوى للتكنولوجيا قوتها بأنها « على قدر من الكفاية مثل ما يتوافر فى ثلاثة رجال يحملون بيانو لو أن كلا منهم تسلق كتفى زميله ورفع أعلاهم البيانو بمفرده »[1] (شكل ٢٨) .

والوحدات المستخدمة فى مثل هذا النوع من التكوين هى وحدات سابقة التجهيز من البلاطات والكمرات الثانوية والرئيسية والروافد والبلوكات الخرسانية — غير أنه من الممكن إعطاء هذه الوحدات تماسكاً جزئياً عند التجميع . وهذا يتأتى بالجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع (أشكال من ١٥٢ إلى ١٥٤) . وبوضع التسليح فى التجاويف المستمرة للبلوكات الخرسانية وملئها بالخرسانة يمكن الوصول بالحوائط لدرجة من التماسك .

الإنشاء الهيكلى :
Framed Construction

الإجهادات فى العمود والكمرة تتغير أساساً إذا ما توافرت وصلة ثابتة ، أى إذا توافر الاستمرار المادى بينهما . وهنا يتكون الهيكل الخطى وهو أقوى من العمود والكمرة فى تحمل القوى الرأسية والأفقية . وفى الهيكل المتماسك (شكل ٢١٨) يتعرض العمود والكمرة للانحناء ويتولد فيهما عزوم انحناء . وهنا يكون للكمرة نهايتان ثابتتان وتتعرض لعزوم انحناء أقل كما فى حالة الكمرات المستمرة وتتعرض بعض أجزاء الكمرة لإجهادات شد . أما الأعمدة فتتعرض إلى إجهادات ضغط كبيرة وانحناء ، وتكون النتيجة غالباً تعرض قطاع العمود إلى إجهادات ضغط عامة على شكل شبه منحرف . والهيكل أقوى

من الإنشاء بالعمود والكمرة فى مقاومة القوى الأفقية كالرياح مثلا . فبينما يقاوم العمود المواجه للرياح عزوم الانحناء بمفرده فإنه فى الإنشاء الهيكلى يشترك مع الأعمدة المجاورة فى مقاومة الأحمال حيث تتوزع قوة الرياح إلى الأعمدة الأخرى بواسطة الكمرات الأفقية .

ميزة الاستمرار المادى تتضاعف بتكرار باكيات الهياكل رأسيًّا وأفقيًّا (شكلى ٢١٩ ، ٢٢٠) حيث تستمر هندسيًّا كمرة متماسكة مع عدة أعمدة . وتتحد جميع الباكيات مع جميع الأعمدة فى مقاومة أى حمل رأسى أو أفقى يقع على إحدى الباكيات .

والاستمرار المادى على المستوى الخطى يمكن أن يتكامل إذا ما اتصلت قواعد الهيكل بكمرة أفقية قوية ، وهنا يصبح المنشأ مقفلا يستطيع أن يحمل أحمالا رأسية وأفقية (شكل ٢٢١) . وتكرار مثل هذه الهياكل بكمرات مستمرة أعلى وأسفل الأعمدة يكون منشأ مقفلا كجمالون ڤيرنديل يمكن استعماله لتغطية بحور كبيرة (شكل ٢٢٢) . هذا الجمالون يمكن اعتباره كمرة كبيرة بأضلاع شد وضغط أفقية وأعمدة رأسية لمقاومة قوى القص . ومع أن قوى الانحناء فى الجمالون الڤيرنديل أكبر منها فى الجمالون ذى الوحدات المائلة إلا أن سهولة الوصلات فى هذا النوع مع خلو الباكيات من أى عوائق شجع استعمالها فى الكبارى والمبانى (شكل ٢٢٣) .

الهياكل الخطية ذات البحور الواسعة وذات الكمرات الأفقية تتعرض أعمدتها الرأسية لجهود انضغاط ، وكمراتها الأفقية لجهود انحناء . وفى هذه الحالة تكون الأعمدة رفيعة نسبيًّا والكمرات عميقة (شكلى ٢٢٤ ، ٢٢٥) . مثل هذه الهياكل ترتفع كفايتها إذا ما كان ضلعها العلوى مثلثاً (شكل ٢٢٦) . وهنا تنتقل الأحمال بمجموعة من إجهادات الانضغاط والانحناء فى جميع أضلاع الهيكل . وبزيادة عدد أضلاع الهيكل تزداد إجهادات الضغط وتقل إجهادات الانحناء (شكل ٢٢٧) وبزيادة عدد الأضلاع المستقيمة يتحول الهيكل إلى عقد . ولكل حالة تحميل مضلع قوى خاص بها ، وكلما انطبق العقد على مضلع القوى تعرض العقد كله إلى إجهادات انضغاط ، وقلت إجهادات الانحناء (شكل ٢٢٨) . وعلى ذلك يكون من الأوفق اختيار شكل العقد الذى يقارب شكل مضلع القوى لأقصى أحمال ميتة . وأى أحمال أخرى ناتجة عن هبوب الرياح أو الثلوج تسبب إجهادات انحناء فى العقود .

والاستمرار المادى والهندسى المتوافر فى العقد يتوقف عند نقط ارتكازه على الأرض . وهنا تتولد قوى رأسية وأفقية يمكن مقاومتها عن طريق أرض صلبة . وفى حالة الأرض الضعيفة تقاوم الأحمال عن طريق

أساسات قوية أو قضبان أفقية رابطة بين طرفى العقد (Tie rods) (شكل ٢٢٩). والقوى الأفقية تتناسب طردياً مع الأحمال ومع مربع البحر وعكسياً مع ارتفاع العقد (شكل ٢٣٠). والعقود قد تكون لها ارتكازات ثابتة أو مفصلية. والارتكاز المفصلى يسمح بدوران أطراف العقد تحت الأحمال وتحت تغييرات درجات الحرارة، وهى ذات مرونة لاتسمح بتولد عزوم انحناء كبيرة. وقد تطورت المفصلات الخرسانية بواسطة المهندس الفرنسى ميسناجييه (Mesnagier) وهو أول من وضع الأسياخ متقاطعة لخلق قطاع لايتحمل عزوم انحناء. والعقود الثابتة بالخرسانة أكثر قوة من العقود المفصلية ومن ثم أكثر حساسية لإجهادات الحرارة والهبوط. ولتلافى هذه الإجهادات كلية يمكن إضافة مفصلة ثالثة فى وسط العقد (Three Hinged arch). مثل هذه العقود حرة الحركة والهبوط بدون ظهور أى عزوم انحناء فى جزئيها (شكل ٢٣١)، وقد كانت شائعة الاستعمال فى نهاية القرن التاسع عشر* ولكن استعمالها قل بزيادة المعرفة بتوزيع الإجهادات المختلفة فى العقود الثابتة. والأخيرة أقوى من الأولى نظراً لزيادة قوة الدفع الأفقى للهيكل (شكلى ٢٣١، ٢٣٢).

وفى بعض الحالات تغطى الفراغات المستطيلة بكمرات أو عقود على محاور المستطيل** وفى هذه الحالة يوجد تماسك مادى بين العقود المتقاطعة أكثر مما يوجد فى حالة العقود المتوازية المربوطة بكمرات منفصلة، كما تقل الحاجة إلى الكمرات الرابطة (شكل ٢٣٣). وقد يتطور هذا التوزيع إلى مايسمى بالسقف اللاملا (Lamella roof) وهو عبارة عن مجموعة من العقود المتوازية المائلة على جوانب المسطح المغطى ومتقاطعة مع مجموعة أخرى من العقود المماثلة (شكل ٢٣٤) بحيث يوجد تعاون وتماسك بين العقود جميعها. مثل هذه الطريقة تلغى الكمرات الرابطة كلية وتكون هياكل فراغية برميلية أو على شكل قباب تملأ فيها حشوات خفيفة سابقة الصنع الفراغ بين العقود المتقاطعة.

بالضلوع الخطية السابقة الصب أو المصبوبة على الموقع يمكن الوصول إلى تكوينات خطية دورانية راسمة للفراغات الكروية أو النصف كروية. والضلوع هنا قد تكون مركزية وحلقية*** (شكل ٢٣٥)، وقد تضاف مجموعة من الضلوع المارة بتقاطعات الضلوع السابقة فيما تعرف بقباب شويدلر (Schwedeler)

---

* أهم استعمال لها فى القرن التاسع عشر صالة الماكينات بمعرض باريس الدولى عام ١٨٨٩.

** من هذه الاستعمالات العقود فوق نقط تقابل جناحى الكنائس القوطية.

*** اتبع مثل هذا التكوين فى قبة جامع صوفيا باستانبول باستعمال ٤٠ عصباً متقابلة عند القمة وحشوات من مادة خفيفة كالطوب المفرغ أو خرسانة حجر الخفاف.

(شكل ٢٣٦) . وقد تتكون القباب الهيكلية من ثلاث مجموعات من الضلوع المتوازية المكونة لمثلثات متساوية الأضلاع فيما يعرف بالقباب الجيوديسية (Geodesic) (شكل ٢٣٧) . كما يمكن أن تتكون بالضلوع الخطية أشكال دورانية كإكليل الصباح (Morning Glory) (شكل ٢٣٨) والقبوات الحلقية (Annular Vaults) .

وفى كل الحالات السابقة يجب ملاحظة أن مسطح الإنشاء يكون نسبة ضئيلة من المسطح الخارجى للغلاف . أما باقى المسطح فتملؤه الحوائط والبلاطات . وهذه تصلها بالهيكل الجاذبية الأرضية أو أى وسائل رابطة تساعد على حفظها فى مكانها فى حالة هبوب الرياح أو أى عوامل أخرى غير مرئية . أى إن الحالة ما زالت كما وصفها بروفيسور ماسور . . . ثلاثة حمالين يحمل أحدهم الآخر ، إلا أن الحمالين الأول والثانى أصبحا وحدة فعالة واحدة تحمل الثالث الذى ينقل إليها الحمل الحى مضاف اليه حمله الميت .

التكوينات بالأسطح الإنشائية الفعالة :
Surface-resistant Structural Forms

فى السقف المكون من شبكة متعامدة من الكمرات المتماسكة فى نقط تقابلها ينتج عن الأحمال الموضوعة على كمرة من الكمرات والمسببة لهبوطها حركة التواء فى الكمرات المتعامدة ، أى إن الهبوط الناتج عن عزوم الانحناء فى اتجاه يسبب دوراناً التوائياً (Twisting rotation) على كمرات الاتجاه الآخر . ومن ثم فإن الاستمرار المادى بين الكمرات المتعامدة يسبب اشتراك الكمرات فى الاتجاهين فى مقاومة الأحمال بدلا من مقاومة الأحمال عن طريقة كمرة واحد فى اتجاه واحد . مثل هذه الكفاية تنعكس على نسبة أقل للعمق بالنسبة للبحر (قد تصل النسبة من ١—٣٠ إلى ١—٤٠) . ومن هنا يمكن أن نتصور مدى قوة الأسطح الإنشائية الفعالة التى هى عبارة عن شرائط متعامدة تعمل فى اتجاهين عند كل نقطة فيها .

الأسطح المستوية : (Planar Structures)

البلاطة الخرسانية سطح متماسك ذو عمق صغير ، وأى شريط من البلاطة مواز لضلع من المسطح يمكن اعتباره كمرة تعمل فى اتجاه واحد ، وأى شريط متعامد على الشريط الأول يمكن اعتباره كمرة متماسكة مع الأولى ، أى إن الانحناء فى الأول يولد التواء فى الثانى . والبلاطة تعمل كمجموعة من الشرائط ملحومة الواحدة فى الأخرى تهبط وتلتوى فى أى نقطة . والهبوط يكون إجهادات انحناء وقص فى جهتين . أما اللى فيكون إجهادات قص التوائى (Torsional shear) (شكل ٢٣٩) . وإمكانية التحميل نتيجة لمقاومة اللى هى التى تميز البلاطة عن الكمرات حيث إن الكمرات ، المتعامدة المتماسكة لايمكنها تكوين

لىّ موزع . والتواء البلاطة مسئول عن نسبة كبيرة من إمكانياتها فى التحميل . فمثلا فى بلاطة مربعة محملة على جوانبها الأربع يكون حمل اللى ٥٠ ٪ من إمكانية البلاطة فى نقلها للأحمال للركائز. ومع ذلك فما زالت هذه البلاطات معرضة لعزوم الانحناء، وهذه تترك أجزاء كبيرة من قطاعاتها غير مستغلة إلى أقصى إمكانياتها .

والبلاطات السابقة يمكن أن تحمل على أعمدة والاتصال بين العمود والبلاطة يولد إجهادات قص (Punching shear)، وهذه قد تتطلب رؤوساً مشرومية للأعمدة (شكل ٢٤٠) ، أو بلاطات متوسطة للتوزيع (شكل ٢٤١). ويمكن تلافى الرؤوس والبلاطات باستعمال وصلات قص من الصلب لضمان انتقال الأحمال من العمود إلى البلاطة الخرسانية . واستعمال البلاطة مباشرة على الأعمدة يسهل عمل الشدات ويلغى انحناءات المواسير والأنابيب حول الكمرات الساقطة .

وتبقى طبيعة الإنشاء الخطى باستخدام الأعمدة لحمل البلاطات المسطحة، وعندئذ تصبح الحوائط المحصورة بينها أحمالا ميتة لاتساهم فى زيادة الكفاية الإنشائية . وقد تستبدل بالأعمدة بلاطات خرسانية رأسية تعمل عمل القاطوع الفاصل والدعامة الإنشائية معاً . وهى أقل تعرضاً للانبعاج من الأعمدة المستقيمة بسبب ميل أجزائها المختلفة للانبعاج فى اتجاهات مضادة .

وباستعمال الخرسانة المسلحة يسهل الحصول على الاستمرار المادى بين الحوائط والبلاطات المسطحة فيكونان معاً هياكل إنشائية صندوقية تسهم أجزاؤها فى زيادة متانة المجموع (شكل ٢٤٢) . وهذا تكوين بالأسطح يناظر التكوين الهيكلى بالخطوط ، ويسمى بإنشاء «الحوائط المتقاطعة (Cross Walls) . وتسهم تقوية هذه الحوائط فى اتجاهات عمودية عليها فى مقاومة الانبعاج وبالتالى تقلل من سمكها. وقد ابتكر المعماريان أولجى وأولجى (Olgyay & Olgyay) والمهندس بيلاكيس (Bella Kiss) من المجر نوعاً آخر من الحوائط الحاملة المبنية بالخرسانة المسلحة ويسمى بإنشاء الخلايا (Cellular Construction) وفيه تكون القواطيع الداخلية المتقطعة بأشكالها المختلفة ركائز مستمرة بالأدوار ذات نسبة متانة عالية فى الجهتين [٢]. وتضاف مقويات أفقية على طول الامتداد الرأسى للحوائط كلما أمكن ذلك (شكل ٢٤٣) .

ولأغراض التسقيف يمكن اعتبار البلاطة الرأسية كمرة عميقة ، غير أنها تحتاج إلى سمك كاف لمقاومة الانحناء العرضى (Flexural Rigidity) فى حين أن البلاطة الأفقية لها عزم مقاومة للانحناء أقل منها بكثير. وبين هذا وذلك تقع البلاطات المتكسرة (Folded Slabs) من مسطحات مائلة متماسكة مكونة لسقف

ذى سمك تصميمى يساوى عمق الكمرات (شكل ٢٤٤ ، ٢٤٥) . وفى حالة تحميلها على هياكل طرفية ثابتة فإن التحميل العرضى بواسطة الكسرات يكون ثابتاً عند الهياكل ومرناً فى وسط البحر . والشرائط العرضية سواء المرنة منها أو الثابتة تولد ردود فعل فى الكسرات وهذه تحلل إلى قوى فى نفس مستوى البلاطات . هذه القوى الطولية تتنقل إلى الهياكل الجانبية بواسطة البلاطات التى تعمل ككمرات مستطيلة عميقة . وهكذا يتنقل الحمل إلى البلاطات عن طريق كمرات متكسرة عرضية ذات عمق يساوى سمك البلاطة وإلى الهياكل الطرفية عن طريق كمرات طولية بعمق يساوى عمق الكسرة . والكسرات بالباكيات الطرفية ذات وضع خاص حيث إنها تحتاج إلى تثبيت جانبها الخارجى بواسطة كمرة عميقة طرفية تعادل عدم وجود تثبيت جانبى للضلع الخارجى .

والبلاطات المتكسرة تأخذ أشكالا مختلفة منها المثلثة (شكل ٢٤٥) أو السنامية (Hipped) (شكل ٢٤٦) أو متعدد الكسرات (شكل ٢٤٧). ويمكن أن يطبق هذا الاتجاه على مساقط ذات أشكال أخرى خلاف المستطيلة كالأشكال متعددة الأضلاع والمثلثة والدائرية (شكل ٢٤٨) . وفى هذه الحالة يرتفع السقف عند المركز حيث يتضاءل ارتفاع الكسرات . وكل وحدة مركزية تعمل كجمالون أو عقد مكونة طرداً خارجياً تعادله أرض صلبة أو أعمدة ذات حلقة شد دائرية .

الصدفات القشرية المنحنية : Curved Thin Shells.

البلاطات السابق بحثها مسطحات ذات سمك كاف يجعلها مقاومة للانحناء ، ومن ثم فهى تقاوم الأحمال عن طريق إجهادات انحناء وإجهادات قص والتواء فى الاتجاهين. وفى حالة البلاطات الغشائية (Membranes) تنعدم فيها ، نتيجة لسمكها الرفيع ، أى مقاومة للانحناء ومن ثم تختفى إجهادات الانحناء متحولة إلى إجهادات شد ، وهذه توزع بانتظام على قطاع البلاطة الغشائية كله الذى يعمل بكامل إمكانياته و بأقصى كفاية إنشائية . تخيل قوة قطعة من القماش أو البلاستك الرقيق المشدودة من جوانبها فى تحملها لأوزان ضخمة موزعة على مسطحها وذلك نتيجة لتحول الأحمال على قطاعها المزدوج الانحناء إلى أحمال شد وإلى إجهادات قص فى نفس مستواها على شرط ألا تنبعج قطعة القماش نتيجة للانضغاط المحورى الناتج عن هذا القص . والشد السابق (Prestressed membranes) يسبب تعادلا لهذا الضغط المحورى ، والأغشية عامة غير مهيأة بحكم رقتها لتحمل أى إجهادات انضغاط مما يحد من استعمالها . وبقلب الغشاء المرخى تحت أحمال معينة مع الاحتفاظ بنفس الأحمال ينتج شكل إنشائى يولد إجهادات انضغاط فقط . هذا الشكل ، إذا ما نفذ من مادة متماسكة تتحمل الضغط والشد ، يسمى بالصدفة القشرية (Thin shell) ، وفيها نتلافى كل عيوب الأغشية مع الاحتفاظ بأغلب ميزاتها . هذه الصدفات

رفيعة بحيث تعجز عن خلق أى إجهادات انحناء ، ولكن بسمك كاف بحيث تقاوم الأحمال الواقعة عليها بإجهادات انضغاط وقص وشد ، وكفايتها ترجع إلى انحناءاتها ومقاومتها للالتواء . الانحناءات تجسيم للاستمرار الهندسى على مستويات مختلفة ، ومقاومة الالتواء ناتجة عن الاستمرار المادى لمادة تتحمل الضغط والشد . والانحناءات قد تكون مفردة (Single Curvature) وهذه تظهر خطا مستقيما بقطعها على محورها وأقصى انحناء بالنسبة للمستوى القاطع العمودى . وقد تكون مزدوجة (Double curvature) وهذه تظهر منحنياً بقطعها على محورها ومنحنياً آخر بالنسبة للمستوى العمودى .

وحدات مفردة الانحناء

أبسط أشكال الصدفات مفردة الانحناء هى الصدفات الأسطوانية وهى تستعمل لتغطية المساحات المستطيلة (شكل ٢٤٩) . وهى تحمل فى الغالب على هياكل نهائية (End frames) ثابتة فى مستواها ومرنة فى المستوى العمودى عليها ، وعملها يمكن اعتباره ككمرة فى الاتجاه العرضى . وطبيعة عمل هذه القبوات يتوقف على نسبة طولها فى اتجاه محورها إلى عرضها فى الاتجاه العمودى على المحور . فالأسطوانات الطويلة (Long Barrels) وهذه تكون بحورها فى اتجاه محورها من ضعف إلى ثلاثة أضعاف أقطارها أو أكثر (شكلى ٢٥٠ و ٢٥١) . وفيها تتولد إجهادات غشائية مماثلة لما يتولد فى كمرة والصدفة القشرية تكتسب قوتها من انحنائها ويمكن النظر إلى الأسطوانة ككمرة ذات قطاع منحن . وتتوزع الإجهادات الطولية خطياً خلال عمق الأسطوانة بحيث تقاوم الأجزاء العليا إجهادات الانضغاط والسفلى إجهادات الشد . وعند تحميل مثل هذه الأسطوانات تتجه أطرافها العرضية إلى الانحناء الداخلى معلنة اختفاء الرفص الجانبى المصاحب للإنشاء بالعقود .

وكلما قصرت بحور الأسطوانات بالنسبة لعروضها ازداد وضوح تغير أشكال قطاعها بتحميلها . كما تتغير الاجهادات الطولية من توزيع خطى للانضغاط العلوى والشد السفلى إلى توزيع منحنى لشد علوى وسفلى وانضغاط أوسط (شكل ٢٥٢) . ويرجع توزيع الإجهادات إلى وضعه الخطى الأول إذا أضيفت مقويات وسطى أو بالاستمرار المادى مع باكيات أخرى . وكلما ازداد قصر الاسطوانات تحولت الإجهادات إلى انضغاط عرضى فى اتجاه العقد .

ويمكن النظر إلى الأسطوانة القشرية القصيرة كعقود وسطى محملة على طرفى الصدفة اللذين يعملان ككمرات طولية بين الهياكل والصدفة ، كما تسبب إجهادات الانضغاط بالعقود انكماشاً فى الاتجاه العرضى للصدفة تنتج عنه إجهادات انحناء عند الهياكل حيث إن الأخيرة ثابتة فى مستواها ، فى حين أن الصدفة مرنة بعيداً عن نقطة التثبيت عند الهياكل (شكل ٢٥٣) . كما توجد إجهادات محلية

عند نهايات الاستمرار الهندسى والمادى فى أطراف الصدفات أو عند الفتحات حيث يتطلب الاتزان عمل هياكل أو حلقات ثابتة تتجمع حولها إجهادات انحناء داخل الصدفات المستمرة ، وهذه يمكن مجابهتها فى جميع حالاتها بزيادة محلية فى سمك الصدفة . هذه الإجهادات فى حالة الأسطوانات القصيرة تحتل جزءاً كبيراً نسبياً من طول الأسطوانة ، فى حين أنها تكون صغيرة بالنسبة للأسطوانات الطويلة .

والصدفات الأسطوانية أقل متانة من الصدفات المزدوجة الانحناء حيث إن انحناءها المفرد يعرضها للتحميل ككمرات . وكلما كان هناك داع لزيادة متانتها مع الاحتفاظ بشكلها تضاف كمرات طولية على أطرافها . وهذه توجه إجهادات الشد السفلى إلى الكمرات الطرفية تاركة الصدفة نفسها لمقاومة إجهادات الانضغاط . والكمرات الطرفية تمتص كذلك إجهادات القص الطولية المتولدة عند طرفى الصدفة الأسطوانية . ومع قوة الصدفات الأسطوانية ضد الانبعاج فى مناطق الانضغاط فقد يلجأ المصمم إلى زيادة سمك الصدفة أكثر من الاحتياجات الغشائية ، وهذا قد يزيد تعرضها لإجهادات الانحناء . وهنا قد يلجأ المصمم إلى إضافة ضلوع عرضية برغم ما فى ذلك من زيادة فى تكاليف الشدة .

صدفات قشرية مزدوجة الانحناء

التكوينات السابقة الأسطوانية تتكون هندسياً من حركة مستقيم على منحنيين رأسيين متشابهين فى مستويين متوازيين . وقد يختلف الطرفان من ناحية الارتفاع والشكل فيتكون عن ذلك شكل مخروطى (Conoidal Surface) (شكل ٢٥٤) . وقد يتحول أحد المنحنيين إلى خط مستقيم فيكون ما يسمى بالكونويد (Conoid) (شكل ٢٥٥) والتكوين الأخير قد يكون دائرياً أو على شكل قطع مكافئ أو قطع ناقص وهذا يتوقف على شكل المنحنى الطرفى . والكونويد ممكن اعتباره صدفة مزدوجة الانحناء إذا ما نظرنا إلى محاوره الموصلة لأعلى نقطة على المنحنى بطرفى الخط المستقيم وهى تكون منحنيات تتجه إلى أعلى ، فى حين أن المحاور الموصلة بين منتصف الخط المستقيم وطرفى المنحنى تكون منحنيات تتجه إلى أسفل . هذه الأسطوانات أو الأشكال المخروطية بأنواعها المختلفة قد تكون محاورها أفقية أو رأسية ، وفى الحالة الأخيرة تخدم الأسطح القشرية كحوائط رأسية أو مائلة (من شكل ٢٥٨ إلى ٢٥٨) .

التكوينات الإنشائية السابق بحثها ليست مغفلة للفراغ . فما زالت هناك أجزاء من الغلاف غير حاملة . وهذه يجب تغليفها بأسطح غير مستمرة هندسياً ومادياً مع المنشأ الحامل . كما أن أطراف مثل هذه الوحدات الإنشائية تكون مسطحات تتركز فيها إجهادات الشد والقص مما يجعل من الضرورى تقويتها بكمرات لتعويض عدم الاستمرار فى المادة .

وبازدواج الانحناء يزداد المنشأ متانة وخاصة إذا كان أحد الانحناءين مستمراً هندسياً ومادياً على شكل دائرة كما هو الشأن فى الصدفات الدورانية . وبازدواج الانحناء يقترب المنشأ من الاستمرار الهندسى والمادى فى اتجاهين بدلا من اتجاه واحد، كما يصبح المنشأ فى أقصى حالاته مقفلا ويصبح محور المنشأ مضلعاً للقوى فى جميع حالات التحميل. وبذلك تتحول جميع الإجهادات إلى إجهادات انضغاط أو شد وتلغى إجهادات الانحناء كلية .

وهناك أنواع كثيرة من الصدفات المزدوجة الانحناء ، وذلك بالنسبة لطريقة تكوينها فى الفراغ وأنواع المنحنيات التى تكونها . ومن الممكن تقسيمها إلى نوعين رئيسين بحسب علامات المنحنيات المكونة لها . وقد اصطلح على تسمية المنحنيات المتجهة إلى أسفل منحنيات ذات علامة إيجابية والمتجهة إلى أعلى سلبية .

والصدفات مزدوجة الانحناء قد تكون ذات منحنيين بعلامات مختلفة وهذه قد تكون صدفات انتقالية (Translational shells) ومنها الصدفات ذات القطع الزائدى المكافئ (Hyperbolic Paraboloid) (شكلى ٢٥٩ ، ٢٦٠) وهى تتكون من حركة قطع مكافئ إيجابى الاتجاه على آخر سلبى الاتجاه ، وقطاعه الأفقى منحنيين منفصلين لقطع زائدى (Hyperbola) . هذا الشكل يتكون أيضاً من حركة خط مستقيم بنهايتين مرتكزتين على مستقيمين ليسا فى مستوى واحد فى الفراغ . وتنفيذ هذا الشكل فى الخرسانة المسلحة على درجة عالية من البساطة حيث إن شداته تتكون من مجموعة من الألواح المستقيمة فى اتجاه الخطوط الراسمة (Generators) . ومن الممكن تكوين أسقف من مجاميع من قطاعات زائدية مكافئة ذات محيط مربع أو مستطيل وذلك من واحدات ذات أربعة أركان أحدها أعلى أو أسفل من مستوى الأركان الثلاثة الأخرى (شكل ٢٦١) . مثل هذه الوحدات يمكن تجميعها بحيث تعطى شكل مظلة (Umbrella) ترتكز على عمود فى نقطة سفلى (شكل ٢٦٢) أو عليا مركزية (شكل ٢٦٣).

ويتوقف تصرف الإجهادات فى القطع الزائدى المكافئ على طريقة تحميله . فهو إذا حمل على عقدين مكافئين فى نهايته فإنه ينقل الإجهادات إلى الركائز عن طريق القص وعمله فى هذا مشابه للأسطوانات المحمولة على عقدين إلا أنه أمتن من ناحية الانبعاج فى الاتجاه الطولى . فالصدفة إذا ما انبعجت فإن القطع المكافئ ذا الانحناء الإيجابى يتجه إلى الاستواء ، وهذا تقاومه المنحنيات العمودية السلبية حيث إن إجهادات الانضغاط تعادل إجهادات الشد فيها . وإذا ما حمل القطع الزائدى المكافئ على خطوطه الراسمة تكون اتجاهات الإجهادات الرئيسية هى اتجاهات المنحنيات . وهذه

عبارة عن إجهادات شد فى المنحنيات السلبية وانضغاط فى المنحنيات الإيجابية مكونة إجهادات قص على هياكل التحميل . وهـذه الإجهادات تتحول إلى إجهادات بالشد أو الضغط فيما عدا تأثير الحمـل الميت للهياكل ذاتها . والإجهادات الغشائية فى جسم الصدفة لها نفس القيمة فى جميع أجزائها ، ولهذا يقال إن الشكل الزائدى المكافئ ذو كفاية كلية ١٠٠ ٪ حيث إن أى نقطة فى قطاع الصدفة تتعرض لنفس الإجهادات . وهذه الإجهادات الغشائية تتناسب طردياً مع الأحمال وعكسياً مع ارتفاع الصدفة وسمكها . وارتفاع الصدفة يجب ألا يقل عن ١/٦ إلى ١/١٠ البحر لتلافى زيادة إجهادات الانضغاط حتى لا تتعرض الصدفة للانبعاج[٣] .

الأسطح القشرية الانتقالية يمكن أن تكون من منحنيين من نفس الإشارة كأن تكون نتيجة تحرك جزء من دائرة على منحنى آخر دائرى (شكل ٢٦٤). وهناك احتمالات كبيرة فى هذا القطاع ولكن أكثرها انتشاراً تنتج عن تحرك قطاع مكافئ على آخر عمودى عليه . هذه الصدفة تسمى قطاع ناقص مكافئ (Elliptic Paraboloid) . هذه التسمية ترجع إلى أن قطاعها الأفقى قطاع ناقص (شكل ٢٦٥) . وفى حالة تماثل القطاعين المكافئين يصبح القطاع الأفقى دائرياً (شكل ٢٦٦) . وفى حين يغطى الاحتمال الأول مسقطاً مستطيلا فإن تشابه االقطعين ينتج سقفاً لمسطحات مربعة . وقد يتحرك جزء من دائرة على منحنى قطع مكافئ وتتكون أسطوانات مكافئة (Parabolic Cylinders) (شكل ٢٦٧) . والصدفات الانتقالية تحملها إجهادات القص على العقود المحيطة (شكل ٢٦٨) . والعقود الحاملة ثابتة فى مستواها ومرنة فى الاتجاه العمودى عليها . ومن ثم فلا يوجد احتمال تولد إجهاد شد أو انضغاط فى هذا الاتجاه عند حواف الصدفة . ويمكن اعتبار الصدفة الانتقالية كأنها قبوات فى الاتجاهين حيث إن الصدفة مزدوجة الانحناء فى الاتجاهين . والجزء الأوسط من الصدفة يعمل كقبة منخفضة مكوناً إجهادات انضغاط فى اتجاه الرواسم والمتوازيات . أما الجزء المجاور للعقود فهو عرضة لإجهادات انحناء، وهذه ولو أنها تختفى بسرعة داخل الصدفة نتيجة لوجود انحناء عمودى عليها إلا أنها تستلزم زيادة السمك عند الأطراف .

وهناك مجموعة متباينة من الصدفات مزدوجة الانحناء تتكون هندسياً فى الفراغ نتيجة لدوران منحنى مستوى حول محور ثابت وتسمى الصدفات الدورانية (Rotational Shells) . والصدفة قد تأخذ أشكالا متباينة أكثرها انتشاراً القبة الكروية التى تتولد من دوران قوس دائرة حول محور رأسى ، وقبة القطاع الناقص وعملها ليس بكفاءة القبة الكروية نتيجة لطبيعة قمتها الأكثر استقامة والتى تسبب إجهادات

أكبر ، وعلى العكس تعتبر القبة ذات القطاع المكافئ ذات مزايا إنشائية أكبر من القبة الكروية وذلك نتيجة لزيادة انحنائها عند القمة (شكل ٢٧١) .

والتصرف الإنشائي للقباب هو نتيجة مباشرة لخصائصها الهندسية ، فالإجهادات على الرواسم (Meridians) وعلى المتوازيات الدائرية (parallels) هي إجهادات انضغاط وشد بسيطة موزعة توزيعاً متجانساً على قطاعها القشري (شكل ٢٦٩) . وفي حالة عدم كفاية الإجهادات المحورية على الرواسم والموازيات في مجابهة الأحمال تتولد إجهادات ثالثة بالقص للتوازن مع هذا الفرق . هذه الإجهادات جميعها من شد وضغط وقص كافية لحفظ شكل القبة (٢٧٠) . وهي إمكانيات كافية لجعل القبة منشأ متوازناً تحت كل الظروف ومنها قوى الرياح الأفقية . وتولد قوى القص يحول كل راسم على القبة لمضلع قوى لأي مجموعة من الأحمال المتماثلة حول المحور وبذلك تقاوم القبة الأحمال بدون إجهادات انحناء . وهنا يبرز الفرق في الكفاية الإنشائية بين الأسطوانة والقبة ، ففي الأولى يكون هناك مضلع قوى واحد لكل حالة تحميل ، وإذا تغيرت حالة التحميل تغير مضلع القوى ونتج عن ذلك إجهادات انحناء ، في حين أن متوازيات القبة توفر لرواسمها ركائز متفرقة على طولها عن طريق قوى أفقية تعوق حركتها ويتولد عن ذلك إجهادات حلقية محيطية . وحيث إن إجهادات القبة بالانضغاط أو الشد صغيرة جداً فإن القبة منشأ على درجة عالية من المتانة . وهذه الظاهرة تفسر أسماكها الرقيقة التي بلغت نسبة البحر إلى السمك فيها من ٣٠٠ إلى ٤٠٠ ضعف * . هذه القباب مستمرة هندسياً ومادياً في اتجاه المتوازيات ، وفي غير حالات الكرات الكاملة ، تنقطع الرواسم عند اتصال القبة بالأساس . وهنا يجب أن تكون ردود الفعل تماما في اتجاه الرواسم لكي تظل الإجهادات محورية وهذا غير ممكن عملياً بسبب الانبعاج الخارجي للقبة فوق حلقة الشد الخارجية الثابتة الطول عند مستوى الأساس . وهنا تتولد إجهادات انحناء عند اتصال القبة بالحلقة الدائرية محصورة في شريط صغير مجاور للأحرف الخارجية .

والأشكال الدورانية قد تكون على شكل زهرة إكليل الصباح وعلى الشكل الحلقي (Torus) (شكل ٢٧٣) ، والأخير يتكون من حركة منحنى حول محور لا يمسه . وقد تتكامل في تكوين شرنقي (Monocoque) وهو أعلى درجات الاستمرار المادي والهندسي من حيث تغليفه الكامل للفراغ . والمنحنى الراسم سواء كان نصف دائرة أو نصف قطاع يبتدئ من محور الدوران ، كما يحتمل تكوين مسطحات دورانية على

* للمقارنة تبلغ نسبة البحر إلى السمك في البيضة ٣٠ ضعفاً وفي المنشآت ذات إجهادات الانحناء تبلغ النسبة حوالي ٢٠ ضعفاً(٤) .

شكل قطرة المياه (شكل ٢٧٤) . وللاستمرار الهندسى يجب ألا يكون هناك تغير مفاجئ للمماس عند أى نقطتين متجاورتين . وحين يتوافر الاستمرار الهندسى والمادى يصبح المنشأ مقفلا ويصل استعمال المادة إلى ذروته فى الكفاية بدون إجهادات انحناء ، كما تتحد وظيفتا الإنشاء وتغليف الفراغ فى جسم واحد يقوم بالمهمتين معاً .

فى التحليل السابق رسمنا صورة للعلاقة الوثيقة بين المبادئ الإنشائية المختلفة والأشكال والتكوينات الناتجة . ومن المعتقد أن اتجاه التطور الإنشائى الذى بدأ بالكمرة والعمود وانتقل إلى الإنشاء الهيكلى باختراع الحديد الزهر والصلب سينتقل بالتأكيد، باستغلال إمكانيات الخرسانة المسلحة، إلى تكوينات الأسطح الإنشائية . وهذه قد واجهت المعمارى بتحديات جديدة . وفى الفصول القادمة سنناقش تأثير الاحتمالات الإنشائية بالخرسانة المسلحة على التخطيط المعمارى للفراغ ، ثم نتبعها بدراسة للإمكانيات الجمالية للمادة وتشكيلاتها .



التكوينات المعمارية بالمسطحات الفعّالة مزدوجة الانحناء

يتأثر التصميم المعمارى للفراغ بالإمكانيات الإنشائية للمواد المستعملة . هذه الإمكانيات قد حددت أشكال الفراغات والأغلفة المعمارية على ممر عصور التاريخ .

فاتزان المواد غير القابلة للشد استلزمت أعمدة ضخمة متلاصقة ومرتبة على محاور شبكية (شكل ٢٧٥) . واتخذت الفراغات الناتجة الاتجاه الرأسى تؤكده وتدعمه الأعمدة الرأسية . وباكتشاف إمكانيات الأقبية بالمواد غير القابلة للشد ، واكتشاف الرومان لخرسانة البتزولانا سهلة التشكيل ، ابتعدت الأعمدة والحوائط واتسعت الفراغات لتخدم احتياجات مستجدة . كما اتخذت الفراغات الناتجة بالإمكانيات الجديدة أشكالا متعددة (شكل ٢٧٦) . لقد ولدت لغة معمارية ذات إمكانيات واسعة ، وهذه منحت معمارى الحضارات البيزنطية والإسلامية والقوطية وعصر النهضة فرصاً لتشكيل الفراغات فى تكوينات لم تكن ممكنة أو معروفة من قبل ، كلاًّ حسب احتياجاته الخاصة .

وقد أدى اكتشاف المواد القوية فى الانضغاط والشد كالصلب والخرسانة المسلحة إلى اتساع احتمالات التصرف فى الفراغ المعمارى الداخلى إلى حدود أبعد . فبالإنشاء الخطى الهيكلى رُفعت الركائز إلى مسافات أبعد ، واتجهت الفراغات إلى الامتداد الأفقى (شكل ٢٧٧) . هياكل الصلب الخطية رسمت الفراغات وغلفتها بلاطات أو ألواح من مواد أخرى . وفى هذه المرحلة التجريبية أدى اكتشاف الخرسانة المسلحة كمادة بلاستيكية متماسكة قابلة للشد إلى تكوينات جديدة خاصة بها . ومع أن مرونتها تسمح بتشكيلها على معظم التكوينات الإنشائية إلا أن خصائصها الإنشائية تستغل إلى أبعد حدودها فى التكوينات ذات المسطحات الفعالة حيث يصبح المنشأ حاملا ومغلفاً للفراغ فى آن واحد . وهنا تتوفر القوة نتيجة للشكل . وتعتبر الأشكال المعمارية الناتجة أشكالا خاصة بعمارة الخرسانة المسلحة .

والأسطح الفعالة تعطى عموماً ما يمكن أن نسميه بالحل العضوى (Organic Solution) ، وهو ما نعبر عنه بالحل المثالى الذى تستعمل فيه المادة على أعلى درجة من ناحية الكفاءة . وهذا ما نجده فى الطبيعة فى ورق الشجر أو الصدفة البحرية أو فقاعة الصابون .

ومن المهم هنا أن نقرر أن مثل هذه التشكيلات الإنشائية مع مزاياها ، لايمكن اعتبارها حلاً إنشائيًّا مطلقاً لجميع احتياجات الفراغ المعمارى . فسنرى فى تحليلنا التالى أن هناك مشكلات وظروفًا خاصة تجعل استعمال هذه التشكيلات غير مرغوب فيها معماريًّا أو غير ممكن عمليًّا وحسابيًّا ، مما يستوجب استعمال التشكيلات الإنشائية الخطية وما تعطيه من مزايا خاصة تبرر استعمالات الخرسانة المسلحة على هذا النحو .

ومن المهم أن نلاحظ أن التأثير النهائى للخرسانة المسلحة على تكييف الفراغ المعمارى هو نتيجة للإمكانيات الإنشائية للمادة علاوة على عوامل أخرى خاصة بكل حالة معمارية . فالاستعمال الكفء للمادة والعمالة ليس بالحل الأمثل فى كل حالة ، فقد تتداخل عوامل أخرى تجعل مثل هذا الاستعمال مستحيلا أو غير مناسب .

ومن العوامل التى تؤثر فى اختيار نوع الإنشاء ظروف الموقع . فأراضى وسط المدن الغالية المحدودة المسطح تتطلب لأسباب اقتصادية استغلال المسطح إلى أقصى حدوده ، وهذا يتوافر بالتكرار الرأسى لفراغات محدودة الارتفاع . مثل هذه المواقع تفرض أنواعاً معينة من الإنشاء لا يستلزمها موقع متسع على حدود المدينة أو فى الريف حيث يتوافر الفراغ للامتداد الأفقى بوحدات فراغية منفصلة الواحدة عن الأخرى . هذا الحل له احتمالاته الإنشائية المناسبة ، وشكل الموقع فى هذه الحالة لا يضع قيوداً محسوسة على شكل الوحدات الفراغية الناتجة .

كذلك فإن توافر الإمكانيات للتنفيذ يؤثر فى الاختيار النهائى للطريقة الإنشائية . فقد تكون النظرية الإنشائية الجديدة سليمة نظرياً فى حين أن استعمالها فى مبنى معين يتوقف على الاحتمالات الاقتصادية للتنفيذ . فالإنشاء القشرى قد يكون باهظ التكاليف يتطلب وقتاً طويلا أو قد يكون مستحيلا . ومشكلات إقامة المنشأ كانت ولا تزال فى أهمية مشكلات ضمان سلامته بعد اكتماله . فالمنحدرات الرملية الهائلة والشدات المعقدة وطرق الرفع المتعددة والعدد اللانهائى من العمال ، جميعها دخلت فى عملية إنشاء المبانى التذكارية التاريخية . وهنا نرى أن التطور الإنشائى كان نحو تسهيل عمليات البناء بإدخال مبدأ استعمال الوحدات الصغيرة فى العقود والجمالونات . كما سهلت طريقة البناء بالوحدات الجاهزة مرحلة التنفيذ على الموقع . وبالتدريج أصبح تنفيذ التكوينات ذات الكفاية الإنشائية العالية والتى كان من المستحيل أو غير الاقتصادى تنفيذها بالطرق التقليدية ممكناً واقتصادياً . وهناك شتى الدلالات على أن تقدم استغلال الطاقة الميكانيكية الكهربائية والذرية فى مجال رفع ونقل المواد سيجعل من الممكن إقامة منشآت طال اعتبارها غير ممكنة لأسباب إنشائية . وإلى ذلك الحين فالطرق الإنشائية السائدة تؤدى المهمة بطريقة اقتصادية بالنسبة لبعض التشكيلات الإنشائية ، وبطريقة باهظة التكاليف بالنسبة للبعض الآخر . ولا يبرر استعمالها فى هذه الحالة إلا الاحتياجات الانتفاعية أو الجمالية . وإذا لم يكن الأمر كذلك ، فإن على هذه التكوينات التى قد تكون أعلى كفاية من الوجهة الإنشائية أن تنتظر الوقت المناسب حين يصبح تنفيذها ممكناً عملياً واقتصادياً .

والاحتياجات المعمارية للفراغ من أهم العوامل التى تؤثر فى اختيار التكوين الإنشائى. هذه الاحتياجات تفرض بلا شك حجم وشكل ونوع الفراغ الناتج. وفى القرن التاسع عشر ظهرت احتياجات معمارية جديدة للفراغات الكبيرة، ولحسن التوفيق وجدت المواد والإمكانيات الإنشائية لاستيفاء هذه الاحتياجات. ومن هذه الاستعمالات الجديدة الطلبات المتزايدة للصناعة لخلق دواخل كبيرة خالية من العوائق لاستيعاب الماكينات بأنواعها المختلفة. كما تتطلب معدات النقل الحديثة المتفاوتة الحجم من الطائرات النفاثة والعادية والأوتوبيسات واللوريات والعربات والسكك الحديدية فراغات كبيرة فى المساحة والارتفاع لتخزينها وصيانتها وتشغيلها. كما ازداد الاتجاه إلى فراغات خالية من الأعمدة للمعارض وصالات البيع لكى تعطى أوسع رؤية مع مرونة لازمة فى توزيع الأقسام المختلفة. وبتطور الحياة الاجتماعية لمجموعات كبيرة من الناس ازدادت الحاجة إلى الفراغات الواسعة التى تستوعب احتياجات اجتماعية وترفيهية وتثقيفية ورياضية. هذه الفراغات تستوعب عدداً كبيراً من المتفرجين يراقبون نشاطاً معيناً يجرى فى مساحة مركزية. ومن الملائم أن تتخذ مثل هذه الفراغات شكلا يقرب من الدائرة أو القطاع الناقص. مثل هذا الترتيب يقرب كل متفرج من مركز الاهتمام وبذلك يعطى استغلالا أفضل للفراغ. وتؤمن الأرضيات المنحدرة نحو مركز الاهتمام الذى قد يكون بدوره مرتفعاً، الحصول على أفضل رؤية. أما شكل السقف فتحدده الكفاية الإنشائية بالإضافة إلى الاعتبارات الصوتية. مثل هذه الفراغات غالباً ما تكون من النوع المقفل. وبهذا نعنى أن أغلب أوجه النشاط تتجه إلى الداخل بدون أى اهتمام إلى الخارج، على الأقل أثناء تشغيل المبنى.

وبجانب هذه الأنواع الخاصة من الفراغات الكبيرة نجد أن النوع الأكثر شيوعاً واستعمالا هو الفراغ المحدود المتكرر فى خلايا ممتدة الواحدة بجانب الأخرى أفقياً ورأسياً. هذا النوع من الفراغ ذى الباكيات المقفلة أو المفتوحة، يستعمل كل خلية منه عدد محدود من الناس لاحتياجات سكنية أو تعليمية أو ترفيهية أو تثقيفية ولأغراض العمل والتجارة. وهذه بطبيعتها تحتاج إلى فراغات تتفاوت فى مسطحاتها فى الدور الواحد وبين دور وآخر، كما تتطلب مرونة لانهائية فى التنسيق الداخلى واحتمالات ضم وحدات أو حجزها حسب الاحتياجات المستقبلة للفراغ. مثل هذه الفراغات تكون من النوع المفتوح حيث توجد محاولات انتفاعية لربط الداخل بالخارج، وذلك لاستقبال الهواء والشمس والضوء والمنظر. والخلايا بطبيعة تكوينها وتنسيقها تأخذ غالباً أشكالا تكعيبية مع احتمالات أخرى إذا ماكان الامتداد أفقيا. وقد وفرت المواد الحديثة ذات القوة العالية فى الانضغاط والشد هذه الأنواع من

الفراغات مركزة التحميل فى خطوط رأسية وأفقية تاركة الفراغات الداخلية لتنسق حسب الاحتياجات المعمارية، والمسطحات الخارجية لتكسى حسب نوع الاتصال المطلوب بين الفراغ الداخلى والخارجى .

المشكلات المعمارية لاستعمال الأسطح الفعالة : تؤثر منشآت الأسطح الفعالة تأثيراً كبيراً فى عملية التصميم المعمارى ، فالمنشأ لكونه مغلفاً للفراغ يحدد لدرجة كبيرة هذا الفراغ على عكس المنشآت الخطية التى ترسم الفراغ فقط . ومع أن هذه الحقيقة تفتح كما ذكرنا مجالات معمارية واسعة ، إلا أنها تضع مشاكل وعوائق فى المسقط والقطاع المعمارى .

وعلى العموم نجد أن تكوينات الأسطح الفعالة قد خلقت فراغات كبيرة مغطاة بمنشآت على أعلى درجة من الكفاية الإنشائية بقوة نابعة من طبيعة تكويناتها المستمرة المنحنية . مثل هذه الأشكال تناسب بطبيعة مسقطها وقطاعها احتياجات الفراغات الكبيرة المقفلة مثل قاعات الاجتماعات بأنواعها والساحات الرياضية المقفلة ، وكذلك مساحات التخزين .

وطبيعة المنشأ كمغلف للفراغ تمثل تحديداً على درجات متفاوتة للحرية فى التصرف بالقشرة الخارجية للمبنى . ومع أن هذه التكوينات المنحنية قد تلائم بعضاً من الاستعمالات إلا أنها تواجه المعمارى بمشكلات فى البعض الآخر (شكل ٢٧٨). فالحوائط الخارجية المنحنية فى المسقط والقطاع تخلق مشاكل فى علاقتها بالقواطيع الرأسية وبالأسقف الأفقية الداخلية وبمشتملات المبنى وبمتطلبات ارتفاعات معينة لأى فراغ مستعمل . فباستعمالها تتكون فراغات ميتة فى المسقط والقطاع لا يتوافر فوقها الارتفاع الكافى للاستعمال السلم بواسطة عدد كبير من الجمهور (شكل ٢٧٩) . وقد يلجأ المعمارى فى تنسيقه إلى استغلالها لمقاعد الجلوس أو التخزين ، أو الخدمة ، أو منع المرور فيها بشغلها بأحواض الأزهار أو المياه .

وحيثما يغلف الإنشاء الفراغ بكامله تصبح فرص التغيير فى المستقبل بالإضافة أو الحذف للغلاف الأصلى محدودة . ويكون هذا صحيحاً إذا لم تهيأ احتمالات التغيير فى التصميم الأصلى . هذا النقص فى مرونة الغلاف الخارجى تعادله حرية مطلقة أمام المعمارى فى التصرف فى حدود الفراغ العام (Universal Space) تحت المنشأ القشرى ذاته . هذه الخاصة ذات نفع كبير بالنسبة لاحتمالات تعدد استعمالات فراغ معين (شكل ٢٨٠) .

إن المنشأ كغلاف للفراغ يخلق فراغات مغلقة تماماً فى حالة اكتمال استمراره الهندسى والمادى . والفتحات من طبيعتها أن تقطع هذا الاستمرار وتسبب تركيزاً للإجهادات حولها . والفتحات الدائرية

التقليدية فى السقف، وهى الحل المباشر، لا تعطى إضاءة منتظمة، وهى لا تمثل إشكالات من الناحية الإنشائية* (شكل ٢٨١). أما الفتحات الكبيرة الناتجة عن قطع جزء كبير من الغلاف القشرى فهى تستلزم إضافات بالنسبة لسمك السقف والتسليح حول الفتحة . وقد يتطلب الحال مقويات خاصة حول الفتحة لاتزان الصدفة القشرية . أما فى التكوينات الأقل استمراراً ، فمن المحتمل تشكيلها بحيث لا تقع الفتحات فى السطح الفعال ذاته . كما أنه من الممكن اختيار السقف القشرى بحيث تترك فتحات للإضاءة بين وحداته المتكررة، كما يمكن عمل الفتحات فى أجزاء الحوائط غير الفعالة . هذه الحلول ممكنة إنشائياً ومستحبة من الناحية التعبيرية .

ولحل مشكلات تنسيق الفراغ الداخلى الناتج ليناسب الاحتياطات المعمارية المختلفة يجب عمل بعض التعديلات على الشكل النقى. وتتفاوت هذه التعديلات من منشأ لآخر بتفاوت طبيعته ونوع الفراغ المطلوب . وسنخصص باقى الفصل والفصل القادم لمناقشة الاحتمالات والتعديلات المعمارية اللازمة للتغلب على المشكلات السابقة وذلك لجميع درجات المنشآت ذات الأسطح الفعالة ، تاركين مناقشة المنشآت ذات الوحدات الخطية للفصل التاسع .

التكوينات المزدوجة الانحناء
(المنحنيان لهما نفس الاشارة)

يلائم الشكل الشرقى بطبيعته كذروة الاستمرار الهندسى والمادى الفراغات الكبيرة المقفلة . وهو ملائم على الأخص للفراغات الكبيرة التى تخدم عدداً كبيراً من الناس (شكل ٢٨٢) . وفى هذه الحالة يخدم الجزء المنحنى الأسفل من المنشأ كأساس عائم وخاصة فى حالة التربة الضعيفة . هذا الجزء يشكل ميولا طبيعية للمقاعد الثابتة ، مما يوفر للنظارة رؤية خالية من العوائق وانسياباً طليقاً مباشراً للصوت. والحوائط الخلفية المنحنية فى هذه الحالة تسبب مشكلات صوتية . فالحوائط الدائرية تسبب صدى فى مركزها ، وحوائط القطع الناقص ينتج عنها توزيع غير منتظم للصوت . ولضمان توزيع أفضل للصوت المنعكس يلزم إضافة أسطح أسطوانية محدبة مفرقة للصوت ، كما يمكن تغطية الحوائط الخلفية بأسطح ماصة للصوت تمنع الانعكاسات ، وبالتالى تلغى صدى الصوت . أما الأسقف المنحنية فهى لاتمثل إشكالا إذا روعى أن يكون نصف قطرها إما أكبر من ضعف أو أقل من نصف ارتفاع السقف . وقد صمم المعمارى أمانكيو وليامز (Amancio Williams) سقفاً قشرياً محدباً إلى الداخل

---

* استعملت فتحات صغيرة دائرية فى صالة السوق بمدينة الجسيراس (شكل ١٩٠) وفى مصانع كابلات إنفيلد فى برتماور بجنوب ويلز (شكل ٣١٨ ، ٣١٩) وفى أمثلة أخرى . ويمكن توفير فراغ منير باستعمال سقف خرسانى به بلوكات زجاجية محاطة بضلوع خرسانية . والبلوكات ينظر إليها فى هذه الحالة كقطع ركام كبيرة [1] .

لكي يعمل كمفرق للصوت في تصميمه لقاعة احتفالات موسيقية ، كما استعمل المعماري ايرو سارينن (Aero Saarinen) معلقات متكسرة بالسقف لتوجه الصوت نحو المقاعد الخلفية للسقف القشري لقاعة اجتماعات معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (.M.I.T) (أشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) .

والأشكال الشرنقية الكاملة مثالية إنشائياً في حالة خزانات المياه والسوائل والحبوب المختلفة ، سواء أكانت كروية* ، أم ذات قطاع على شكل القطع الناقص ، أم على شكل قطرة الماء . وهذه إما أن ترتكز عائمة على الأرض أو ترفع على أعمدة .

والقباب الدورانية بقطاعاتها المختلفة الأشكال والارتفاعات تكون أسقفاً على درجة عالية من المتانة باستمرارها المادي والهندسي مع مراعاة اتخاذ الاحتياطات الكافية لمنع الطرد الخارجي للقبة عند قاعدتها وبخاصة بالنسبة للقباب القليلة الارتفاع ، وذلك إما بعمل حلقة مستمرة دائرية عند القاعدة ، وإما بتحميل القبة على الأرض ، على أساس إمكانية تحملها للطرد الخارجي . مثل هذه القباب تغلف فراغات كبيرة بكفاية عالية في استعمال المادة . هذه الفراغات تكون مقفلة بالغلاف الخارجي ومكونة لفراغ عام قد يستعمل لصالة واحدة أو يقسم لفراغات داخلية صغيرة داخل الفراغ العام وذلك عن طريق حوائط وأسقف داخلية . وقد استعملها المهندسون فوستر وروبرتس وشيفر ، والمعماري تايلر (j.C. Taylor) بقطر ١٥٠ قدماً وقطاع على شكل قطاع ناقص بسمك ½ ٣ بوصة كغطاء لمرشحات التقطير في محطة تحليل المجاري في مدينة هيبنج (Hipping) بولاية منسوتا[٢] (شكل ٢٨٤) . كما استعمل المعماري البرازيلي نماير قبة دورانية على شكل قطاع مكافئ دوراني كغلاف للفراغ المكون لقصر الفنون بسان باولو سنة ١٩٥٤[٣] ، وبداخل هذا الفراغ الداخلي سقفان ذوا أضلاع وإنشاء حر مستقل عن القبة . والفراغ العام مضاء من عقود صغيرة على مستوى اتصال القبة بالأرض (أشكال من ٢٨٥ إلى ٢٨٧) .

ومع ذلك فإن استعمال الشكل المتكامل المزدوج الانحناء محدود معمارياً — وعلى المعماري أن يقوم بعدة تعديلات فيه لتكييفه لأكبر عدد من الاستعمالات المعمارية لكي يتمكن من استغلال كفايته الإنشائية .

* أقامت شركة إير فورم الدولية للإنشاءات (Air Form International) مجموعات مخازن كروية كصوامع للغلال بالقرب من عمان بالأردن .

فالاستعمال القاصر للأشكال المزدوجة الانحناء على المساقط المنحنية ، يمكن التغلب عليه بقطع الشكل المتكامل هندسياً بمستويات مصممة لكى تعطى مع ما يتبقى من السطح الفعال الفراغ المعمارى المطلوب . هذه القطاعات تضعف التكوين الإنشائى العام مما يتطلب معها تقوية الأطراف بكمرات أو أجزاء مقلوبة من الصدفة ذاتها . ومن الناحية المعمارية تحل القطاعات مسائل التهوية والإضاءة داخل الصدفة القشرية ، إذ أنها تعطى مساحات خارجية غير حاملة يمكن ملؤها بقواطيع شفافة متحركة . كما يمكن استغلالها كفتحات للتوزيع بين الداخل والخارج . وفى صالة المسرح فى معهد ماساشوستس للتكنولوچيا (أشكال من ٢٨٨ إلى ٢٩٠) استعمل المعمارى سارينن قبة خرسانية بنصف قطر ١١٢ قدماً مقطوعة بهرم مقلوب ثلاثى الأضلاع . وعلى خطوط التقاطع المنحنية وضعت حوائط زجاجية رأسية بين الركائز الثلاث والتى تبعد الواحدة منها عن الأخرى ١٦٠ قدماً[٤] . وقد تمكن المعمارى من استغلال هذا الغلاف الرقيق (سمك ½ ٣ بوصات فى ٨٠ ٪ من المسطح ، ٢٤ بوصة عند الركائز) فى خلق فراغ شغلته قواطيع وأسقف داخلية لمسرح يسع ١٢٠٠ شخص وآخر تحته يسع ٢٠٠ شخص، مع غرف بروڤات وورش وخلافه. والمبنى كما هو قائم الآن تنقصه من الناحية الانتفاعية المخازن الواسعة اللازمة للتشغيل الكامل لمسرحين كبيرين ، وقد اضطر المهندس لذلك تحت حكم الشكل العام للقبة .

وقد يستقل الحائط الخارجى غير الفعال المغلف للفراغ المستعمل داخل المحيط الدائرى للقبة مع تهيئته بفتحات للإضاءة والتوزيع الخارجى . وقد استعمل المهندسون جراونلز ورومبرج وبويد (Grounds, Romberg & Boyd) هذا التكوين فى مبنى لقاعة اجتماعات أكاديمية العلوم بمدينة كانبرا باستراليا باستعمال قبة كروية ذات نصف قطر ٨٠ قدماً (سمك ٣ بوصات) وبها ست عشرة فتحة دائرية (شكل ٢٩١) . وقد حجز الجمهور عن المرور تحت الركائز المائلة بعمل بركة ماء حول المبنى (Water moat) . وقد وضعت صالة الاجتماعات الرئيسية بقطر ٦٤ قدماً فى وسط المسقط الدائرى وحولها صالات الاستقبال والقراءة والعرض والمكاتب والخدمات المختلفة . هذا وقد غطيت القبة بشرائح من النحاس[٥] (أشكال ٢٩٢)

وباستعمال هذه المستويات القاطعة للقبة يمكن إنتاج فراغات ذات مساقط وقطاعات مختلفة . ومنها بنى المهندس المعمارى اليوت نويز وشركاه منزلين كل منهما على شكل قبة بقطر ٣٠ قدماً وارتفاع ١٤ قدماً فى هوب ساوند (Hobe Sound) بفلوريدا ، والقبة مقطوعة بمستويين مائلين متقابلين (أشكال من ٢٩٣ إلى ٢٩٥) ، وقد اقترح نفس المعمارى تصميمات أخرى مستعملا نفس القبة بقطر ٦٠ قدماً لمنزل ولمدرسة

(شكل ٢٩٦) . وفى المدرسة قطعت وحدات القباب على الجوانب الأربعة ، وكونت كل منها فصلا مربعاً ذا أربع حوائط رأسية .

كما يمكن تغطية المساقط النصف دائرية بقبة يقطعها مستوى رأسى أو مائل . وقد استعمل المهندس المعمارى برسيڤال جودمان (Percival Goodman) نصف قبة* قطرها ٩٠ قدما لتسقيف صالة الصلاة فى معبد بيث شولوم (Beth Sholom) بشاطئ ميامى بفلوريدا (شكل ٢٩٧) . كما تولدت على محيط القبة فتحات على شكل القطع المكافئ نتجت عن تقاطع أقبية بنفس الشكل مع السقف القشرى .

ومن الواضح أنه بالتجميع يمكن استعمال التشكيلات المزدوجة الانحناء لتغليف فراغات ذات مساقط مربعة ، أو مستطيلة ، أو مثلثة ، أو متعددة الأضلاع ، أو دائرية ، أو غير منتظمة (شكلى ٢٩٨ ، ٢٩٩) . وفى هذه الحالة يمكن تقوية الأركان بإعطائها قطاعات متكسرة (شكل ٣٠٠) . وبتكرار مثل هذه الوحدات يمكن توسيع مدى استعمالها ؛ فالباكيات الكبيرة المتكررة فى مسقط شبكى يمكن تغطيتها بوحدات مزدوجة الانحناء مقطوعة على أربعة جوانب ومصفوفة الواحدة بجانب الأخرى (شكل ٣٠١) . ويوضح (شكل ٣٠٢) إمكانيات تغطية المساقط المضلعة . وقد استخدمت مثل هذه الوحدات المركبة لتغطية المساقط الدائرية أو على شكل القطع الناقص . وقد صفت ثلاث عشرة وحدة مزدوجة الانحناء على مسقط دائرى لتغطية صالة السوق فى مدينة رويان (Royan) بفرنسا (أشكال من ٣٠٣ إلى ٣٠٥) كما كونت صدفة قشرية متموجة (Scalloped Ellipsoid) قبة على شكل قطع ناقص لصالة العشاء بفندق لاكونشا (Laconcha) بمدينة سانتورس (Santurce) ببورتوريكو (أشكال من ٣٠٦ إلى ٣٠٨) . والحائط الزجاجى الخارجى لهذه الصالة على شكل القطع الناقص يستمر تحت السقف القشرى المموج (شكل ٣٠٧) تاركا نقط الارتكاز داخل سطح مائى عاكس .

جميع التكوينات السابقة كونت مساحات قريبة من نقط الارتكاز تقل فيها الارتفاعات لدرجة تجعل استعمالها الحر غير متوافر ، والمعمارى سعياً وراء زيادة الاحتمالات المعمارية للأسطح الخرسانية الفعالة قد يستغل إمكانيات رفعها على ركائز خطية . فى هذه الحالة تزداد مرونة الإنشاء وتصبح الفراغات بين الأعمدة فراغات غير إنشائية . ويمكن تركها مفتوحة أو تغليفها بالزجاج أو بأى مادة غير فعالة .

---

* استعمل الرومان أنصاف القباب الخرسانية فى بعض من مبانيهم ومنها السيرابيوم (Serapeium) بفيلا هدريان ومعبد ڤينوس وكيوبيد وحماما تروجان ودايوكليشيان .

والأعمدة هنا قد تكون امتداداً للرواسم ؛ أى تنفذ مائلة فى اتجاه أحمال القبة . وهنا تستمر الإجهادات المحورية بين القبة والركائز – وعلى المصمم أن يوفر طرق نقل الأحمال من القبة المسطحة إلى الأعمدة الخطية . وقد استنبط نيرفى حلا على درجة عالية من الكفاية والتعبير فى قبة سراى الرياضه الصغير بروما وذلك باستعمال وحدات مثلثة على شكل مروحة تنقل الأحمال من القبة إلى أعمدة مائلة ذات فرعين (شكلى ٣٠٩ ، ٣١٠) والمساحات بين المثلثات أعطيت انحناءات إلى أعلى . أما الحائط الخارجى بقطر ٥٥ متراً على مستوى نهاية المثلثات فنفذ من الخرسانة إلى ارتفاع المدرجات ، ثم قفلت المسافة الباقية بالزجاج الرأسى إلى ارتفاع نهايات الأعمدة وبزجاج مائل لتقفيل المساحات الباقية (شكلى ٣١١ ، ٣١٢) .

والقباب أو مجموعات الوحدات مزدوجة الانحناء يمكن رفعها على أعمدة رأسية ، وفى هذه الحالة يلزم مراعاة موازنة الطرد الخارجى للسقف على الأعمدة الخطية الضعيفة . وقد تكون هذه الموازنة على طريق حلقة شد دائرية سابقة الإجهاد كنهاية للأسطح الدورانية فوق الأعمدة ، كما فى القبة الدائرية المنخفضة المغطية لصالة اجتماعات مدينة البكرك بولاية نيومكسيكو (شكلى ٣١٣ ، ٣١٤) وهى بقطر ٣٠, ٦٦ م والفراغ تحت القبة خصص للجلوس ٣٥٠٠ متفرج على مقاعد ثابتة و ٢٥٠٠ متفرج على مقاعد متحركة فى الوسط (شكل ٣١٥) . والفراغ الأوسط مخصص لاستعراضات الثلج والسرك وللحفلات الاجتماعية والموسيقية .

وفى حل آخر فصل المهندس تروخا الكمرة الرابطة عن القبة ، وذلك لتغطية مسقط مثمن لسوق تجارى بمدينة ألجسيراس بإسبانيا(٦) . والقبة الدائرية قويت أركانها بأجزاء مقلوبة بارزة من القبة ، وملء الفراغ بينها وبين الكمرة المثمنة الرابطة سابقة الإجهاد بشبابيك للإضاءة . والقبة بقطر ١٦٠ قدما وسمك ٣½ بوصات فى وسطها و ١٧ بوصة عند الأطراف ، وبها فتحة وسطى مثمنة غطيت بوحدات خرسانية مثلثة سابقة الصنع وذلك لإضاءة الجزء الأوسط من الصالة (شكل ١٩٠) .

ومن الممكن استعمال قباب خرسانية مقلوبة سابقة الإجهاد مرفوعة على أعمدة فى تغطية المساقط الدائرية للمبانى الرياضية والترفيهية . وفى هذه الحالة يتبع السقف الميل الداخلى لمقاعد المتفرجين . هذه الأسقف المعلقة المزدوجة الانحناء تستغل إمكانيات الصلب فى مقاومة الشد وإمكانيات البلاطات الخرسانية فى تثبيت الأسقف ومنع اهتزازاتها . وقد رأينا هذا التكوين فى إستاد المعرض الصناعى فى منتڤيديو بأورجواى (شكلى ١٤٥ ، ١٤٦) ، وفى الاستراحة الدائرية بمعسكر كولومبيا بمدينة

ليتشفيلد (Litchfield) بولاية كنتكت (شكلى ١٤٧ ، ١٤٨) . وقد استعمل المكتب الهندسى سكدمور وأوونج وميريل (Skidmore, Owing & Merril) قبة مقلوبة لتغطية الحلقة الجديدة ببحر ٤٢٠ قدماً بمدينة أوكلاند بولاية كاليفورنيا[٧]. ومن الطريف فى هذه الصالة طريقة تحميل القبة على أعمدة خارجية متقاطعة (شكلى ٣١٦، ٣١٧) . وينتج عن هذه الأعمدة توازن القبة العرضى والالتوائى. والحائط الخارجى زجاجى عازل مستقل عن أعمدة الارتكاز . ومن الممكن استعمال هذه الأسقف للمساقط البيضاوية .

وبرفع الأسقف القشرية المزدوجة الانحناء على أعمدة يمكن تغطية المساقط الشبكية ذات الباكيات الواسعة المتكررة . ولمثل هذه التوزيع مزايا كبيرة فى المصانع . وقد استخدمت مثل هذه الأسقف بنجاح كبير فى مصنع كابلات انفيلد بمدينة برنماور بولاية ويلز الجنوبية (١٣٥ متراً X ١٠٠ متر) (أشكال من ٣١٨ إلى ٣٢٠) . وفى هذا المصنع ترتكز تسع قباب ٣٠ متراً طولا و ٢١ متراً عرضاً، وبسمك من ٧,٥ سم إلى ٩ سم على أربعة أعمدة فى أركانها . والوحدات مفصولة بعضها عن بعض بممشى ، وبذلك أمكن توفير إضاءة جانبية علوية خلال كمرات التقوية الجانبية المفتوحة علاوة على فتحات دائرية بالصدفات ومن الممكن زيادة الإضاءة بإمالة مستويات هذه الفتحات . هذا التصميم وفر فراغاً للعمل جيد الإضاءة ببحور واسعة بين الأعمدة. وهناك إمكانيات لعمل مثل هذه الوحدات فى بحور تبلغ ٩٠ متراً وبسمك حوالى ١٠ سم مما يعطى إمكانيات انتفاعية غير محدودة . وقد استعملت هذه الأسقف سابقة الصب ببحور حوالى ٨ أمتار فى الجهتين فى صالة سوق ستيوارت بمدينة نيوكانن بولاية كنتكت بأمريكا (شكلى ١٢٦ ، ١٢٧) . وقد استغل المهندس طابع التكرار فصبها على الأرض ورفعها على الأعمدة . وقد هيأت الجوانب فرصاً للإضاءة بالإضافة إلى المسافات بين كل وحدة وأخرى .

فى الاستعمالات السابقة استعملت قباب أو وحدات مزدوجة الانحناء مقطوعة بمستويات رأسية من جوانبها لإمكان تنسيقها وتكرارها الوحدة تلو الأخرى- وفى مصنع إشمان (Eschmann A G) بمدينة ثون (Thun) بسويسرا غطيت باكيات مستطيلة (٢٠م X ١٤,٢٠م) بقباب كاملة ذات سطح محدب (Humpedback) وذات محيط سابق الإجهاد ومكونة من أربع قطع مزدوجة الانحناء تنتهى بمستطيل عند قاعدتها وتتقابل فى منتصف القبة عند فتحة دائرية للإضاءة (شكل ٣٢١) . وبهذه القباب التى استنبطها المهندس لسلر (Lsler) عام ١٩٥٤ ، يمكن تغطية باكيات ذات مسطح حوالى ٤٠ متراً فى الاتجاهين[٨] (شكلى ٣٢٢ ، ٣٢٣) .

ويمكن تغطية البواكى المربعة (شكل ٣٢٥) أو الطويلة المستطيلة المفردة (شكل ٣٢٥) أو المتكررة بسقف قشرى انتقالى (Translational) يتحرك فيه منحنى بنصف قطر صغير على منحنى أكبر بحره يساوى طول الباكية المتكررة ، ويتولد فى هذه الحالة سقف قشرى مزدوج الانحناء . وقد استعمل المهندسون بلنر وأندرسون (Billner & Anderson) هياكل انتقالية مزدوجة فى اقتراحهم لسقف ذى بحر ١٠٠٠ قدم بسمك متوسط ٦ بوصات (شكل ٣٢٦) . كما غطيت محطة أوتوبيس ستوك ويل (Stock Well) بلندن (شكل ٥٩٣) بباكيات من هذه الأسقف المزدوجة الانحناءات ذات بحر ٩٠ متراً . وقد هيأت فتحات علوية فى جسم السقف القشرى وبين الأعمده للإضاءة . كما استعملت نفس الأسقف فى الحظيرتين التوأمتين فى مرسيليا بنفس البحر ، وقد رفعا هيدروليكيا إلى وضعهما النهائى على ارتفاع ١٨ متراً . كما استعملت مثل هذه الوحدات فى سقفين كابولين لحظيرة طائرات بفرانكفورت بألمانيا (شكل ٦٠٢) .

ويعتبر الاستعمال المعمارى للأشكال المتموجة السابقة التجهيز التى ابتكرها بيير لويجى نيرڤى حلاً ناجحاً لمشاكل الشدات المعقدة اللازمة للأسقف القشرية . وقد لمسنا هذا الاستعمال فى صالة العرض الرئيسية بمعرض تورينو (١٠٠ متر) ،وفيها تجمعت كل ثلاثة ضلوع متجاورة على عمود واحد بواسطة مروحة متموجة تنقل الإجهادات إلى الدعائم المائلة (شكل ٣٢٧) وبذلك تحققت المرونة اللازمة فى مستوى سطح الأرض . ويغمر الضوء الطبيعى الصالة خلال فتحات موجودة بالأشكال المتموجة . كما توافرت الإضاءة الصناعية بخطوط من لمبات فلورنست فى بطنية المنحنيات مؤكدة الشكل العام للصالة . وفى الاستعمالات الأخرى كما فى حمام سباحة الأكاديمية البحرية فى لجهورن (Leghorn) بإيطاليا (شكل ٣٢٨) تخدم التموجات ،التى تغطيها من أعلى بلاطات خرسانية، كممرات لمواسير تكييف الهواء والتدفئة مزودة بفتحات قريبة من قمة القبو . وقد اقترح نيرڤى استعمال هذه الوحدات المتوجة لحظيرة طائرات بمطار بيونس ايرس ذات بحر ٥٥٠ قدماً . والتموجات وما يغطيها من بلاطة خرسانية مسلحة وتربيعات تكون ممرات هوائية عازلة للمنشأ من التغييرات الحرارية الخارجية . وما زال المجال مفتوحاً لتحقيق نتائج اقتصادية واستعمالات معمارية أوسع باستعمال هذه الوحدات الإنشائية ؛ إذ يؤكد نيرڤى أنها تعتبر حلاً إنشائياً لبحور تصل إلى حوالى ٢٠٠ متر .

وتبسيطاً للتموجات السابقة يمكن استبدالها بمسطحات مسنمة (Hipped Plates) وهى التى استعملها فريسينيه فى حظائر أورلى ٣٢٠ قدماً (شكل ١٨٨) . وقد تركت فتحات للإضاءة بين كل عصب . وقد ظهرت تطبيقات معمارية لهذا السقف فى أمريكا حيث أنشئت حظائر طائرات لشركة الخطوط

الجوية العالمية(T.W.A.) فى كانساس سيتى وفى نيويورك، ولشركة بان أمريكان العالمية فى نيويورك. وكل منها له فراغان (٨٠٠ قدم X ١٦٠ قدماً) على جانبى الجزء الأوسط المخصص لورش الصيانة والمكاتب. وكل فراغ مغطى بسقف منحن مسنم يرتكز ضلعه الداخلى على أعمدة داخلية ويبرز الضلع الخارجى معلقاً فى الهواء من حبال من الصلب تبرز من دعامات خرسانية تعلو الجناح الأوسط. وبذلك يكون فراغ الحظيرة ذا ثلاثة جوانب خالية تماما من أية أعمدة إنشائية. وتقام الحوائط المغلفة للمبنى على الضلعين القصيرين (١٦٠ قدماً) تاركة الجانب الأكبر (٨٠٠ قدم) حرّاً لحركة الطائرات (شكل٦٠٣). وجدير بالذكر ملاحظة تغير عمق الموجة على امتداد العصب مما يتناسب مع احتياجات الإجهادات المحلية. مثل هذه الأسقف المعلقة المفتوحة معرضة لضغط الهواء من جميع الاتجاهات، ويتسبب هذا فى حدوث ذبذبات رأسية بلغت ٣ أقدام فى الحالات القصوى. وهذا يعنى ترتيبات خاصة لجميع العناصر المغلفة للفراغ تحت السقف. فالأبواب المنزلقة تحت نهاية السقف وعلى الأرض مصنوعة من جزءين أحدهما مائل والآخر رأسى بينهما مفصلات. والسقف ينزلق خلف النوافذ والحوائط الجانبية التى تتحرك داخل جيب متصل بالسقف.

مثل هذه المسطحات المتكسرة يمكن أن تستغل لتكوين منشآت متكاملة مستمرة. وتعتبر محطة الوصول لنظام العربات المعلقة بأعلى جبل مونت أفيلا (Mt. Avila) بجوار كراكس بفنزويلا والتى تمت سنة ١٩٥٥، استعمالا معمارياً مبكراً لهذا الإنشاء (شكل ٣٢٩). ومن قبل قام لويجى موريتى (Luigi Moretti) بعمل نماذج من الورق المنطبق بطرق معينة للوصول لأسقف منحنية منكسرة. هذه التجارب استمرت بواسطة المهندس الأمريكى رتشارد فلايشمان (Richard Fleishman) الذى قام بعمل سلسلة نماذج لمساقط مستطيلة ومربعة ومثلثة ومتعددة الأضلاع (شكلى ٣٣٠، ٣٣١). كما قام طلبة السنة الثانية عمارة بجامعة القاهرة فى العام الدراسى ٦٤ — ٦٥ بعمل نماذج لاحتمالات أخرى لهذه الأسقف (أشكال من ٣٣٢ إلى ٣٣٧). وقد قدمنا فى (شكلى ٣٣٨، ٣٣٩) احتمالات أخرى لهذه المسطحات المتكسرة باستعمال القطاعات لتغطية مساقط مستطيلة.

ومن الممكن استغلال بلاستيكية الخرسانة لتركيب أسقف مزدوجة الانحناء على مساقط مستطيلة، وذلك لتوفير انتقال تدريجى بين السقف والأعمدة. وقد استعمل الرومان المثلثات الكروية فى مبانيهم الخرسانية. ومن أمثلة ذلك الغرفة العليا فى كزال دل بياتزى (Cassle Del Piazzi) ومقبرة سيديا دل دياڤلو (Sedia Del Diavelo) والصالة المثمنة بحمامات كركلا (Caracalla). وقد تطورت هذه المثلثات

الكروية بعد ذلك فى العمارة البيزنطية والإسلامية . واستعمالها فى الخرسانة المسلحة ما زال منتظراً الاستكشاف والتجربة . وبلاستيكية وقوة الخرسانة المسلحة لابد أن تساعد على خلق تشكيلات تفوق تلك التى وصل إليها الرومان بالخرسانة العادية . وقد رأينا بعضاً من هذه الاستعمالات فى الانتقال المبتكر فى صالة عرض تورينو (شكل ٣٢٧) . وقد قدمت محاولات فى نفس الاتجاه فى (الأشكال من ٣٤٠ إلى ٣٤٣) .

وهكذا فإنه باستعمال القطاعات والرفع على أعمدة واستغلال بلاستيكية الخرسانة يمكن استغلال المنشأ المقفل المزدوج الانحناء لتغطية فراغ مرن مفتوح ، إلا أن المرونة تقف أمام الامتداد الرأسى المحدود بالسقف القشرى ذاته ، ولو أنه من الممكن إدماج عدة طوابق تحت أى من هذه الصدفات كما فى صالة معهد ماساشوستس للتكنولوجيا التى وُضع تحت سقفها القشرى قاعتان ومسرحان واحداً فوق الآخر (شكل ٢٨٩) .

الصدفات المزدوجة الانحناء (المنحنيان مختلفى الإشارة) :

الصدفة من هذا النوع ليست مغلفة للفراغ . وهى قد تكون صدفة دورانية على شكل (زنبقة الصباح) واستعمالاتها المعمارية قد تأخذ شكل العمود المشروى ذى القلب المصمت أو المجوف والسقف الدائرى البارز . وقد نظم فرانك لويد رايت صفوفاً من هذه الأشكال لتغطية مسطحات واسعة ذات باكيات متكررة فى مبنى الإدارة لشركة جونسون واكس (Johnson Wax) فى راسين بولاية وسنكسن (شكل ٣٤٤) . ويمكن لشكل « زنبقة الصباح » كوحدة قائمة بذاتها أن يستعمل فى مظلات المتنزهات والحدائق . وبغلق المحيط الخارجى يتكون فراغ واحد ذو مسقط دائرى وخدمة مركزية حول وداخل الأسطوانة الداخلية . وقد اقترحت الأشكال المرفقــة عدة حلول لمحطات بنزين وحظائر طائرات (شكل ٣٤٥) وصالات عرض وطعام (شكل ٣٤٦) . وقد استعمل المهندس نيرفى تكويناً مثل السابق فى مطعم كورسال (قطر ٤٩ قدماً) بليدو دى روما (Lido di Roma) بإيطاليا (شكل ٣٤٧) .

والأشكال الدورانية التى تتولد من دوران منحنى حول محور رأسى يمكن أن تعطى تكوينات ذات قوة إنشائية وبصرية ، ولو أنها محدودة الاستعمال للمساقط الدائرية أو متعددة الأضلاع . كما يمكن حملها على أعمدة رأسية لإعطاء مسقط مفتوح على مستوى الأرض كما هو الحال فى قطاع مرصد سانت لويس بأمريكا (شكلى ٣٤٨ ، ٣٤٩) ، حيث رفع المنشأ كله على أعمدة تربطها حلقة شد دائرية . والمنشأ كمغلف خارجى للفضاء احتوى داخله عناصر أهمها المسرح ذو القبة الدائرية . وفى كاتدرائية الجزائر (شكل ٣٥٠) استعمل الشكل الدورانى للتأثير التعبيرى الخارجى والداخلى . وقد تصرف المهندس

فى المسقط الأفقى بحمل المنشأ على أعمدة ضخمة على مسقط متعدد الأضلاع مع التصرف فى الحوائط الخارجية بإبرازها على الأعمدة وتغطية الزيادات بأسقف متكسرة تتقابل مع السقف الدورانى وتكون له قاعدة على شكل أهرامات مدببة متناقضة مع الجسم الدورانى الأوسط .

ومن الأشكال الدورانية الشبيهة بشكل زنبقة الصباح القبو الحلقى (Annular Vault) وهو ذو فائدة فى الوحدات المعمارية الدائرية أو المضلعة القائمة بذاتها (شكل ٣٥١). ويتسع مجال هذه الأشكال إلى حد بعيد باستعمال المستويات القاطعة على المحيط الداخلى والخارجى (شكل ٣٥٢) .

ومن الأشكال المزدوجة الانحناء التى انتشرت استعمالاتها المعمارية فى مجالات واسعة شكل القطاع الزائدى المكافئ . وقد توسع المعماريون فى التصرف به فى مساقط متنوعة ذات استعمالات متعددة ، ومما شجع على ذلك مزاياه الإنشائية والتنفيذية السابق تأكيدها . وهو فى أبسط أشكاله كوحدة مستقلة محملة على هيكلين على شكل قطاع مكافئ وجانبين على شكل قطاع زائدى على الأرض مباشرة أو مرفوعين على هياكل على شكل قطاع مكافئ . ومن الأمثلة الأولى لهذا الاستعمال مبنى معمل الأشعة الكونية بالجامعة بمدينة مكسيكو الذى بناه المهندس كاندلا . والعقدان فى هذا المعمل يبعد أحدهما عن الآخر ٥,٠ أمتار وبحرهما ١٠ أمتار وسمك السقف $\frac{٥}{٨}$ بوصة (شكل ٣٥٤). وقد وفر هذا السمك الصغير إمكانية قياس الأشعة من داخل المبنى . وقد استعمل كاندلا القطاع الزائدى المكافئ على الأرض مباشرة فى كنيسة لاس لاموس (Las Lamos) فى كويرنافاكا (Guernavaca) بمكسيكو (شكل ٣٥٥) .

الوحدات الطويلة من القطاع الزائدى المكافئ والتى يتحرك فيها قطع مكافئ صغير سلبى الإشارة على آخر طويل موجب الإشارة يمكن استعمالها كوحدات أسقف مزدوجة الانحناء ذات بحر طويل . وقد انتشر استعمالها كوحدات مصبوبة على الموقع ووحدات جاهزة لبحور بلغت عشرين متراً فى تشيكوسلوفاكيا (شكل ٣٥٦) ، كما تعرف هذه القطاعات الجاهزة باسم طريقة سيلبركوهل (Silberkuhl) فى ألمانيا[٩] .

كما يمكن تحميل القطع الزائدى المكافئ على أربع من رواسمه المستقيمة ، وفى هذه الحالة يأخذ مسقط الرواسم شكلاً معيناً أو مربعاً . والهيكل الخطى على الرواسم الطرفية ينقل الأحمال عن طريق إجهادات انضغاط محورية إلى الركائز . وقد انتشر استعمال وحدات منفردة من هذه الأسقف لتكسية صالات أوكنائس ترتكز على نقطتين ، ويرتفع الطرفان الآخران إلى أعلى كما فى مشروع كنيسة سنيورا دلا سوليداد (Senora de la Soledad) فى مكسيكو ، ويغطيها سقف زائدى مكافئ من تصميم المعمارى

لاموراً وشركاه والإنشائي كاندلا (١٩٥٦—١٩٥٧) ، وقد اشتهر كاندلا بتصرفاته فى هذا المجال . وفى هذا المثال يرتكز السقف على الركنين المتقابلين ، بارزاً من طرفيه البعيدين محققاً النهاية الدراماتيكية عند الطرف البارز إلى أعلى بدون أعمدة فوق المذبح ، والسقف متزن بصليب خرسانى عند المدخل (شكلى ٣٥٧ ، ٣٥٨) .

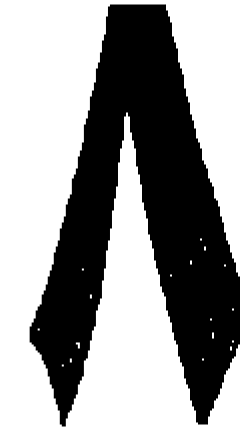
كما يمكن تنسيق هذه الوحدات فى مجموعات لتغطية مسطحات ذات مساقط مربعة أو معينة أو متعددة الأضلاع . وبالتحرر من المحيط الخارجى للسقف يمكن إقامة حوائط غير حاملة دائرية أو على شكل قطاع ناقص أو حرة (شكل ٣٥٩) لاستيفاء المساقط المعمارية المطلوبة . ونقطة الارتكاز فى هذه الحالة متباعدة قد تصل إلى ٢٠٠ قدم ، كما فى مشروع المطعم ونادى العشاء فى لونج بيتش (Long Beach) بكاليفورنيا (أشكال من ٣٦٠ إلى ٣٦٢) . هذا المشروع يستخدم سقفاً رشيقاً مكوناً من ثلاثة قطاعات زائدية مكافئة متزنة ترتكز على ثلاث نقط ارتكاز ، وقد صممه المعماريان ريمون ورادو (Antonin Raymond & Rado) والإنشائيان ويدلنجر وسالفادورى . ومن الأمثلة الناجحة فى هذا التكوين مطعم ليس مانانتيالس (Les Manantiales) بمكسيكو (سنة ١٩٥٨) الذى يغطى مسطحاً دائرياً بنصف قطر ١٦ متراً مستعملا ثمانى وحدات بسمك ٤ سم ترتكز على ثمانى نقط ارتكاز (شكل ٣٦٣) . والمحيط الخارجى الدائرى مغطى بالزجاج (شكل ٣٦٤) . ولتكامل الاستمرار الداخلى والخارجى امتدت أرضية الجرانيت من داخل المطعم إلى التراس الخارجى .

وباستعمال مجموعات متوازنة من هذه الوحدات المرتكزة على نقطتين ، والمرتفع أحد طرفيها عن الآخر ، أمكن الوصول لأسقف دراماتيكية فى كنيستين بمكسيكو من تصميم المعمارى لاموراً وشركاه والإنشائى كاندلا ، إحداهما كنيسة سان جوزيه أوبريرو (San José Obrero) ذات المسقط المعين (شكلى ٣٦٥ ، ٣٦٦) والمغطى بوحدتين ، والأخرى بكنيسة سانت ڤنسنت (St. Vincent) ذات المسقط على شكل نجمة مثلثة (أشكال من ٣٦٧ إلى ٣٧٠) . والسقف مغطى بثلاث وحدات تشترك فى ثلاث نقط ارتكاز وتشغل المقاعد فروع النجمة والمذبح مركزها . وفى كنيسة ثالثة سان أنطونيو دى لوس هيورتاس (San Antonio de los Huertas) (شكل ٣٧١) استعملا ثلاث مجموعات كل منها يتكون من أربع وحدات بينها فتحات للإضاءة الطبيعية . ويمكن استغلال القطع الزائدى المكافئ للحصول على وحدات ذات بروزات كبيرة لاستعمالها فى السقيفات الكابولية أو الصدفات العاكسة للموسيقى . وقد برع فيلكس كاندلا فى هذه الاستعمالات ، ومنها عاكسة موسيقى فى المشروع الإسكانى للهيئة

المكسيكية للتأمين الاجتماعي التي صممها المعماري ماريو پاني (Mario Pani) وهي تبرز ٤٠ قدماً وتتكون من ستة قطاعات تبدأ من الأرض رأسية وتنتهي على طرفها أفقية (شكل ٣٧٢) . كما نفذ كاندلا مشروعاً لعاكسة موسيقى لمدرسة في جواد الاخارا (Guadalajara) (شكل ٣٧٣) مستعملا قطاعات زائدية مكافئة تبرز ١٠٠ قدم .

ويعتبر استعمال القطع الزائدى المكافئ لتكسية الباكيات المربعة ، أو المستطيلة باستخدام مجموعة من أربع وحدات من أكثر استعمالاته انتشاراً ومن أوسعها في الإمكانيات . فمن الممكن أن تغطى مجموعة من أربع وحدات مرتكزة على أربع ركائز مسقطا مستطيلا كما في صالة مدخل محال ماى — د ، ف (May-D & F) في دنفر بولاية كولورادو ، حيث غطت مسطح ١١٢ قدماً X ١٣١ قدماً على ركائز مائلة مفصلية (شكل ٣٧٤) . كما يمكن بالاستعمال المتكرر لهذه المجاميع في مسقط ذى باكيات واسعة الوصول إلى تكسية اقتصادية لباكيات المصانع والمخازن . وقد استخدمه المهندس كاندلا بتصرفات في عديد من أسقف الأسواق والمخازن والمصانع . ففي مصانع هيرديز (Herdez) بمدينة تاكوبا (Tacuba) بمكسيكو (شكلي ٣٧٥ ، ٣٧٦) استعمل كاندلا تكويناً مماثلا لما سبق أن رأيناه في مصانع المطاط بمدينة برنماور مع استبدال القباب الانتقالية بمجموعات من أربع وحدات زائدية مكافئة . وقد نظم كاندلا المجموعات بحيث تبعد الواحدة عن الأخرى مسافة تكفى لاستغلال جوانب المجموعة للإضاءة وقد استعمل أعمدة ذات أربعة فروع لحمل أركان كل أربع مجموعات متجاورة .

وباستعمال عمود أوسط ومجموعة من أربعة قطاعات كابولية ينتج حل مرادف يعطى إمكانية للإضاءة العلوية الشمالية ، وذلك عن طريق إمالة الوحدات . وقد صادفت هذه التكوينات استعمالات متعددة في المبانى الصناعية والمعارض وخلافها . وقد استعملها كاندلا بكثرة ، ومن أبرزها صالات للأسواق بمكسيكو (شكل ٣٧٧) وسقف مصنع لاميكس (Lamex S. A.) في بونتى دى ڤيجاس (Puente de Vigas) بمكسيكو (شكل ٣٧٨) في مجموعات مائلة بأبعاد (١٠م × ١١م) و(٨,٦٢ م × ٢٠ م) . والصدفة في الحالتين بسمك ١,٦ بوصة ، وتصريف الأمطار من كل مجموعة يتم خلال ماسورة في العمود الحامل لها .



التكوينات المعمارية بالأسطح الفعّالة مفردة الانحناء والمستوية

الوحدات مفردة الانحناء : الوحدات المزدوجة الانحناء السابق بحثها فى الفصل السابق أقوى من زميلاتها المفردة الانحناء غير أنها تتطلب شدات أكثر تعقيداً ، الأمر الذى تعادله المميزات الإنشائية الناتجة . وهى بطبيعتها كوحدات مزدوجة الانحناء تتناسب مع المنحنيات فى المسقط الأفقى والقطاع ، إلا إذا عدلت بالتعديلات السابق بيانها. والوحدات المفردة الانحناء ، ولو أنها أقل متانة ، إلا أنها تهيئ فى أغلب صورها سقفاً مناسباً للفراغات ذات الأضلاع المستقيمة. وهى كوحدات إنشائية تحتفظ بمزايا الاستمرار الهندسى والمادى فى اتجاه واحد . وبانحنائها المفرد تكون مغلفة جزئية للفراغ تاركة الجزء غير الإنشائى من الغلاف الخارجى للتشكيل حسب المطالب المعمارية المختلفة . هذه التكوينات تكون منحنية إما فى المسقط الأفقى وإما فى القطاع .

تهيئ القبوات القصيرة المفردة الانحناء سقفاً لفراغات واسعة البحور (حوالى ١٠٠ متر) ذات ارتفاعات كبيرة . وباستعمالها متكررة يمكن تغطية مسطحات كبيرة بلا حدود . وكلما تعددت مرات التكرار كان استعمالها اقتصادياً. ومن مميزات هذا الإنشاء الفراغ الداخلى الواسع ذو السقف النظيف ، الأمر الذى لا يتوافر فى الأسقف الجمالونية الحديدية . هذه القبوات القصيرة تعطى سقفاً مستوياً بدون أى عوائق وخاصة فى حالة استعمال الأعصاب المقلوبة . ولهذه الأسباب ، بالإضافة إلى أفضليتها عن الصلب فى مقاومة الحريق ، ازداد الاتجاه إلى استعمالها عالمياً فى حظائر الطائرات وجراجات الأتوبيسات والمصانع والمخازن، وقد استعملت فى أكبر البحور المقاومة للحريق (١٠٥ أمتار) فى حظائر طائرات الجيش الأمريكى بمدينة رابيدستى بولاية داكوتا الجنوبية وفى مدينة لايمستون بولاية مين (شكل ١٩٨) . وفى هذه الاستعمالات تصبح الواجهة الأمامية والخلفية للقبو مفتوحة ببحرها الواسع لدخول وخروج مشتملات المبنى الكبيرة من طائرات وخلافه ، كما تكون مجالا للإضاءة والتهوية . والفراغ الداخلى الناتج مرن بلا حدود يترك حراً أو يقسم أفقياً أو رأسياً لاستيفاء مطالب معمارية واسعة .

وبمد الأعصاب إلى الأرض مع وقف الصدفة على مستوى مناسب يمكن زيادة المرونة على مستوى الأرض على جانبى الفراغ الناتج ، كما يمكن تلافى الفراغات الجانبية المائلة للأسقف المحدودة الارتفاع . وبهذا الترتيب يمكن عمل حوائط جانبية رأسية مع إضافة سقف أفقى على جانبى القبو مع فرصة عمل إضاءة علوية رأسية جانبية فى الحوائط الرأسية أو عند تقابل القبو والسقف الأفقى . وهناك احتمال لضم المسطح الجانبى الناتج للفراغ الأوسط أو فصله للاستعمالات المتخصصة كالخدمات والصيانة والمكاتب، على دور واحد أو دورين حسب الطلبات المعمارية. وقد استعملت هذه المساحة الإضافية

ذات السقف المنخفض لعمل مدرجات النظارة فى مسرح ذكرى الحرب لأونونداجا كاونتى (Onondaga County) فى مدينة سيراكيوز (Syracuse) بولاية نيويورك[1]. وفى تنسيق آخر فى المحطة الجوية البحرية للساحل الشرقى الأمريكى رفعت الأعصاب والصدفة على هياكل بارتفاع دورين شغلتهما غرف الصيانة والمكاتب[2]. كما أمكن تغطية مسقط دائرى لمعرض ماشية بمدينة مونتجمرى بولاية ألاباما باستعمال صدفات قصيرة متكررة (شكل ٣٧٩) . وقد تبعت الصدفة ذاتها المسقط الدائرى تاركة الأعصاب لتستمر حرة إلى الأرض . كما حقق وقف الصدفة القصيرة فى سوق كولونيا بألمانيا إضاءة الصالة على مستويين رأسيين وإلى إضافة صفين من الحجرات على الجانبين (شكل ٣٨٠) .

وبتقاطع قبوات أو ضمها فى مجموعات تزداد قوتها وتتوسع استعمالاتها، والاقتراح فى (شكل ٣٨١) المكون من ٣ مجموعات من أسقف قشرية قصيرة يصلح لحظيرة طائرات تتسع لثلاث طائرات فى نفس الوقت . كما أن تقاطع قبوين عمودين يكون أسقفاً (Groined Vaults) نفذت بكثرة بالخرسانة الرومانية . وبالخرسانة المسلحة ستتوسع إمكانيات هذه التقاطعات . ومن أوائل استعمالاتها الحديثة فى صالة مطار سانت لويس بولاية ميسورى للمهندسين ياماساكى ولاينوبر (Yamasaki, Ieinweber) (أشكال من ٣٨٢ إلى ٣٨٤). وقد أتاح شكل السقف فرصة تكراره فى ثلاث مجموعات مهيأة بحوائط زجاجية من جميع الجهات بالإضافة إلى إضاءة علوية بين كل مجموعة وأخرى (شكل ٣٨٥). مثل هذه القبوات المتقاطعة استعملها المعمارى لامورا فى كنيسة بيوريزيما (Purisima) بمدينة مونترى مورا (Monterry Mora) بمكسيكو . وينتظر لمثل هذا التكوين استعمالات أخرى لم تأخذ مجالا للتنفيذ بعد (شكل ٣٨٦). ومن الممكن أن تستعمل أقبية الأفنية المتقاطعة (cloister vaults) على باكيات كبيرة مربعة ممتدة فى الاتجاهين فى الصالات الواسعة للتصنيع والتخزين والعمل وغيرها (شكلى ٣٨٦ ، ٣٨٧) . وقد استعملت مثل هذه الوحدات فى مخزن المنتجات المصنعة لشركة دنلوب فى هاناو (Hanau) بألمانيا .

والقبوات الطويلة تصلح لتسقيف باكيات متكررة عرضياً ومستمرة طولياً ، والمهم أن يقرر المصمم طول القبو وعرض الباكيات. وقد يشمل البحر المطلوب صفاً واحداً أو عدة صفوف علماً بأن إمكانية هذه القبوات قد تصل إلى بحور حوالى ٦٠ متراً وعروض حوالى ١٥ متراً[3]، وأن النسبة بين البحر وعرض الباكية تتراوح من ٢ : ١ إلى ٤ : ١ . وفى الحالة الأخيرة يلزم وجود عصب ساقط عند تلاقى الأقبية المتكررة . وهناك قطاعات مختلفة لهذا النوع من القبوات منها المتماثل وغير المتماثل، وذلك لاستيفاء الاحتياجات الانتفاعية والإنشائية المختلفة (أشكال من ٣٨٨ إلى ٣٩٣). ومن القطاعات المتماثلة قبوات مطعم الموظفين بشركة

ماى وبيكر (May & Baker, Ltd) بمدينة داجنهام (Dagenham) بإسكس بإنجلترا (شكل ٣٩٤). والمطعم يحتوى على خمس باكيات عرضها ٨ أمتار وطولها ١٥متراً، وتبرز القبوات متراً ونصف متر عن أعصاب التقوية . وقد اتصلت الباكيات بمنحنى مستمر بحيث أصبح الشكل النهائى سقفاً مموجاً بمنحنيات كبيرة وصغيرة متتابعة (شكل ٣٩٥) . وقد استعملت قبوات طويلة لتغطية صالة التمرينات للبحرية الملكية بمدينة ديل (Deal) بمقاطعة كنت (Kent) بإنجلترا (شكل٣٩٦). ولطول البحر استعملت أعصاب بين الباكيات، وتركت فتحات علوية فى السقف القشرى بخلاف الفتحات الجانبية لزيادة الإضاءة فى وسط القاعة (شكل ٣٩٧) .

ويزيد احتمال سبق تجهيز القبوات الطويلة الإمكانيات العملية لاستعمالها المتكرر اقتصادياً حتى بالنسبة للبحور الصغيرة : والطريقة السابق شرحها للمعماريين سولانو وأورتيجا لسبق تجهيز قبوات طويلة وتحميلها على هياكل خطية سابقة الصب أو حوائط حاملة ، استعملت بكثرة فى كولومبيا بأمريكا اللاتينية . ومن هذه الاستعمالات وحدات السكن الاقتصادى فى بوجوتا التى استعملت كثيراً من هذه الأشكال مفردة (شكلى ٣٩٨ و ٣٣٩) أو فى مجموعات (شكل ٤٠٠) . ونفس القبوات الجاهزة استعملت فى أنواع أخرى من المبانى ومنها مصنع لبان كلارك (Clarks Chicle) فى بوجوتا بكولومبيا حيث استعملت مجموعة من هذه القبوات سابقة التجهيز محملة على هياكل ذات كابولين منحنيين على الجانبين (أشكال من ٤٠١ إلى ٤٠٤) . وقد استعمل المهندس الفارو أورتيجا (Alvaro Ortega) نفس التكوين فى مصنع بلوكات خرسانية فى بوجوتا .

تسبب الفتحات الأفقية فى جسم السقف القشرى للمصانع والمعارض إضاءة ركيكة مع احتمال دخول أشعة الشمس وتجمع الأتربة على السطح الزجاجى . ولتوفير الإضاءة العلوية الشمالية المناسبة بالأسقف القشرية يمكن استعمال وحدات مفردة الانحناء غير متماثلة مائلة بحيث يكون الفراغ الشمالى بين كل باكيتين شريطاً أفقياً للإضاءة . والطريقة التقليدية هى استعمال قبوات مستمرة على صفوف من أعمدة متكررة، وطول الباكية فى هذا التكوين هو بحر السقف الأسطوانى كما فى مركز (I.C.T.) فى واناولويد (Waunarlwydd) بمقاطعة سوانسى (Swansea) (شكل ٤٠٥) . وقد استعملت فى سقف مصنع وستلاند (Westland) لأعمال المطاط بمدينة لنداو (Lindau) بألمانيا باكيات ببحر ١٥ متراً وعرض ١٠ متر (شكل ٤٠٦) . وقد تمتد أطوال الباكيات إلى أربعين متراً وعرض ١٠,٥ أمتار كما فى مصنع ترايمف انترناشنال (Triumph Int.) بمدينة ريجنزبرج

(Regensburg) . . وتقاوم إجهادات الشد فى البحور الواسعة بسبق الإجهاد كما فى المثل السابق أو باستغلال الفتحات ذاتها كجمالون ڤيرنديل بقوائم رأسية بين الشبابيك . وقد يلجأ المعمارى إلى توسيع عروض الباكيات بين الأعمدة بحمل القبوات على جمالون عرضى مفتوح يشمل ثلاث أو أربع قبوات متتالية . بهذه الطريقة تمكن المهندس فرايتاج (F. Freitag) من عمل باكيات ٢٤ متراً × ٢٢ متراً بدون أعمدة فى مصنع ويبر وأوت (Weber & Ott. AG) فى مدينة فورشهايم (Forchheim) بألمانيا (شكلى ٤٠٧ ، ٤٠٨) .

وقد استعمل فى بولندا عام ١٩٥٨ قطاع جديد للقبوات ذات الإضاءة البحرية ، وذلك فى مصنع نسيج فى مدينة كاليش (Kalisch) (شكل ٤٠٩) . والقبوات ذات قطاع مقعر ذى عمق إنشائى أكبر من القطاع المحدب ، وبالتالى ذو قوة أكبر . كما وفر هذا القطاع مكاناً أكبر أمام الشبابيك بحيث يتفادى تجمع المياه والثلج قريباً من السطح الزجاجى (شكل ٤١٠) . كما قلل هذا القطاع الحجم الداخلى المطلوب تكييفه وأعطى سقفاً داخلياً ناعماً . وقد استعملت فى هذا المصنع باكيات مربعة أبعادها ٣١,٥م × ٣٠ متراً (أشكال من ٤١١ إلى ٤١٣) كما استخدمت كمرات لحمل القبوات المقعرة فى الاتجاه العرضى . والقبوات صنعت من وحدات سابقة التجهيز عرضها ٤ أقدام ، ١١ بوصة اتصلت ببعضها بواسطة الإجهاد اللاحق بواسطة أسياخ حديدية مرت داخل أعصاب الوحدات المجهزة.

وقد أمكن استعمال القبوات المخروطية (Conoids) كوحدات طويلة فى تصميم مسرح مدينة تالاهاسى (Tallahassee) بولاية فلوريدا (شكلى ٤١٤ ، ٤١٥) حيث استعملت مجموعتان من أقبية مخروطية لتكوين سقف على شكل مروحتين متقابلتين فى الوسط حيث تم تحميلها بحبال شد من عقد على شكل قطع مكافئ ومن الطرفين على أعمدة خارجية . وبهذا التنسيق تمكن مكتب « المعماريون المتعاونون » (Architects Collaborative) من تسقيف صالة وسطى دائرية محاطة بمجموعتين من المدرجات على شكل مروحة على الجانبين .

الأشكال السابقة مفردة الانحناء فى قطاعاتها الرأسية. وهناك أسطح مفردة الانحناء فى قطاعها الأفقى ومن هذه التكوينات الأشكال الدورانية الأسطوانية الرأسية ، وجميعها لها ميزة الاستمرار المادى والهندسى فى مقطعها الأفقى مما يعطيها قوة ومتانة بالإضافة إلى إمكانيات الإجهاد اللاحق . وقد استعملت الأسطوانات بكثرة فى الخزانات الكبيرة التى أنشأتها شركة بريلود لخزن وترشيح المياه وتحليل المجارى وتخزين الكيماويات والبترول . كما انتشر استخدامها فى مجموعات فى صوامع الغلال المنتشرة فى أمريكا

وأوربا وأقيم منها اثنتان فى القاهرة والإسكندرية (شكل ١٢٨) . ولما تمتاز به هذه الأسطوانات من قوة ذاتية كركائز رأسيه استخدمت كعصب إنشائى داخلى فى الأبراج العالية تبرز منها الأدوار المتكررة كما فى برج المعامل بمقر شركة جونسون واكس بمدينة راسين بولاية وسكنسن حيث تبرز الأرضيات مسافة خمسة أمتار حول القلب المركزى الذى يحملها (شكلى ٤١٧ — ٤١٨) . والتجويف الداخلى لهذه الأسطوانات يمكن استغلاله لعناصر التوزيع الرأسى والخدمة . وفى الأبراج العالية استخدمت الأشكال المسلوبة المفردة الانحناء كغلاف خارجى . ومن أشهر هذه الاستعمالات برج التليفزيون فى ستتجارت بألمانيا (٦٩٢ قدماً) . والأسطوانة نفسها كما صممها المهندس المعمارى هارى كيل (Harry Kale) وشركة بريلود والإنشائى الدكتور ليونهاردت (Dr. Leonhardt) (ترتفع إلى ٥٠٠ قدم) وتحمل ستة طوابق بارزة تحتوى مطعماً ومطبخاً وغرف صيانة وإرسال ودوراً للمرافق (شكلى ٤١٩ ، ٤٢٠) . والبرج بصورته الحالية يقابل بالخرسانة المسلحة برج أيفل الحديدى . وللأشكال المخروطية السابقة مجال للاستعمال كحائط خارجى حامل فى المبانى المتعددة الطبقات ، كما يجدر استكشاف إمكانياتها فى المدرجات المائلة للاستادات الرياضية .

الحاجة للفراغات الفسيحة الخالية من أى عوائق أظهرت الحاجة إلى التكوينات الإنشائية السابقة ولكن التكاليف الباهظة للشدات المنحنية ، وبالأخص فى الولايات المتحدة ، دفعت التطور إلى مجال القبوات المسنمة أو المنطبقة ، وقد ورد من قبل ذكر استعمالها منحنية فى الاتجاه الطولى . وقد انتشر استعمالها كأسقف أفقية لما يحققه من وفر أكبر فى الشدة بمقارنتها بالقبوات المنحنية . وقد استعملت هذه الوحدات فى الولايات المتحدة لبحور تتراوح من ١٥ متراً إلى ٤٠ متراً بتكاليف يمكن أن تقف منافسة للأسقف ذات الباكيات العادية . ومن هذه التطبيقات أسقف محلات سيرز وروباك (Sears &Roebuck) فى مدينة تامبا (Tampa) بفلوريدا (شكلى ٤٢١ ، ٤٢٢) ، وهى تتكون من وحدات مسنمة ذات بحر ٤٠ متراً وعرض تسعة أمتار . والمحلات تشتمل على صالتين خاليتين من الأعمدة تبلغ أبعاد كل منهما ١٢٥ متراً طولا و ٤٠ متراً عرضاً . كما استعملت الوحدات فى تغطية صالة بولنج كلوفرليف لينز (Clover Leef Lanes) بميامى بفلوريدا ببحر يقرب من بحر الصالة السابقة (٤٠م) وطول ٩٥ متراً . كما استعملت بارزة لمسافة ٣٠ متراً من الجهتين من طرفى جزء أوسط للخدمات فى حظيرة طائرات الخطوط الجوية الأهلية فى ميامى بفلوريدا (شكل ٤٢٣) . وقد اقترحت الهيئة العامة للتصنيع بالجمهورية العربية المتحدة استعمال مثل هذه الوحدات للتسقيف الاقتصادى للمنشآت الصناعية فى باكيات ذات

بحور من ثمانية إلى ثلاثة عشر متراً وعروض من خمسة إلى سبعة أمتار ونصف بمتوسط سمك خرسانة السقف والأعمدة من ١١ سم إلى ١٢ سم لكل متر مربع من المسقط الأفقى، ومتوسط نسبة الحديد للمتر المكعب من الخرسانة من ١٠٠ كجم إلى ١٢٠ كجم.

وفى مجال استعمال هذه الوحدات فى المبانى المتعددة الطبقات تقدم المهندس الإنشائى بويد أندرسون (B.G. Anderson) باقتراح لاستعمال ثنية عمقها ٣ أقدام وسمكها ثلاث بوصات ونصف بوصة تمتد عبر البحر المحصور بين الحوائط الخارجية الخرسانية الحاملة[٤] (شكل ٤٢٤). ويحقق هذا الاستعمال مساحات واسعة متكررة خالية من الأعمدة والحوائط الداخلية الثابتة، وبذلك تتحقق المرونة التامة لمبانى المكاتب المتعددة الطوابق. ويسمح الوزن الخفيف لمثل هذا التصميم بتعلية المبانى الخرسانية عن الحد الممكن الآن بالخرسانة المسلحة، كما تهيئ الثنيات ممرات تصلح لمواسير التدفئة والتكييف والتوصيلات الكهربائية وغيرها من خطوط التغذية (شكل ٤٢٥).

أما الأسقف المنطبقة المثلثة القطاع فقد شاع استعمالها فى الأسقف الاقتصادية للمبانى العامة والخاصة لباكيات متكررة ذات بحور من ٨ إلى ١٢ متر، وعروض من ٤ إلى ٥ أمتار لما تحققه من وفر فى الشدات. وتزداد قوة الانطباقات بتداخلها فى اتجاهات مختلفة الأمر الذى ينتج عنه تعددها وصغر مسطحاتها المستوية المعرضة لعزوم الانحناء. وقد استغل المكتب الهندسى الأمريكى ياماسكى ولاين وبر (Yamasaki &Leinweber) هذه الوحدات السابقة الصب فى السقف الكابولى للمركز الرئيسى للجمعية الأمريكية للخرسانة فى دترويت (شكلى ٤٢٦، ٤٢٧). ويبرز السقف المكون من صفين من الانطباقات المتداخلة من جهتى حائطين مكونين لطرقة التوزيع الوسطى، وبذلك ترك الحائطان الجانبيان خاليين من الأعمدة بتاتاً، وقد نفذا بكاملهما من الزجاج من فوق الجلسة إلى السقف الخرسانى. كما استعمل المكتب المذكور هذه الوحدات فى سقفى مبنى ماك جريجور (Mc. Gregor) التذكارى بجامعة ولاية وين (شكل ٤٢٨). وفى توزيع آخر استعملت الأسطح المنطبقة المثلثة فى سقف مطعم وحمام سباحة بلويزيانا بأمريكا لتغطية صالة بحرها ١٢ متراً، وطولها ٣٠ متراً. وقد قسم الطول إلى خمس باكيات وكل باكية تغطيها ثلاث وحدات طولية (شكل ٤٢٩). وقد حملت هذه الانطباقات فى نهايتى البحر على كمرة تصل الأعمدة بعضها ببعض، والسقف يبرز عن الحائط الزجاجى الخارجى بمترين من الطرفين. وفى مشروع على درجة عالية من الكفاءة الإنشائية استعمل المهندسون برويير وزيرفوس ونيرفى قطاعات منطبقة مثلثة القطاع فى أسقف وحوائط صالة الاجتماعات بمقر هيئة اليونسكو بباريس (شكل ٤٣٠).

والقاعة على شكل شبه منحرف تنقسم إلى بحرين (٣٩,٦٠ متراً و ٢٦,٧٠ متراً) . والسقف المغطى للبحر الواسع تقوى انطباقاته بلاطة منحنية فى مناطق إجهادات الانضغاط . وللأسقف المنطبقة احتمالات عديدة أخرى فى التسقيف للبحور الكبيرة والصغيرة أوردنا بعضاً منها فى (شكل ٤٣١) .

وكما تستغل الانطباقات الأفقية فى الأسقف فإنها تكون حوائط منطبقة ذات قوة كبيرة ، وقد استعملت مثل هذه الحوائط والأسقف فى الكنيسة اليابانية للرهبان البندكتين لدير سانت أنسلم (Anselm) بطوكيو التى وضع تصميمها المعماريان الأمريكيان ريموند ورادو (أشكال ٤٣٢ إلى ٤٣٤) . وقد تركت مسافات للإضاءة الرأسية بين وحدات الحوائط المتجاورة . كما استعملها المهندس اليابانى كنزوتانجى (Kinzo Tange) فى حوائط صالة اجتماعات بمدينة شى ــ زيوكا (Shi-Zuoka) (١٩٥٣ــ١٩٥٤) . وكرر استعمالها سابقة الصب على شكل حرف (V) الإنشائى الفرنسى لافاى والمعمارى جويلاوم (Guillaume) فى عدة كنائس وحظائر طائرات ومحطات سكك حديدية بفرنسا ويوغوسلافيا (شكل ٤٣٥) .

والبلاطة المتكسرة يمكن استخدامها كوحدة مستقلة أو فى وحدتين متقاطعتين لتغليف فراغ ذى مسقط مستطيل أو مربع (شكل ٤٣٦) . ومن الأمثلة الناجحة لهذا الاستعمال كنيسة الصليب المقدس فى سيدونا (Sedona) بولاية أريزونا التى صممها المعماريان أنشن وألن (Anshen & Allen) والإنشائى روبرت دوويل (Robert Dowell) (شكلى ٤٣٧، ٤٣٨) . والكنيسة مغلفة بحوائط خرسانية مائلة سمكها ١٢ بوصة مكونة مع السقف المائل هيكلا مسطحاً مستمراً .

الأسطح المستوية : الأشكال المزدوجة والمفردة الانحناء لا يتناسب شكلها مع تكرار الاستعمال الرأسى فى أسقف المبانى المتعددة الطبقات ؛ وهى بطبيعتها تغلف الفراغات الكبيرة المفردة . غير أن الغالبية العظمى من الفراغات المعمارية ليست هى الفراغات المفردة ، بل الفراغات الصغيرة المتكررة أفقياً ورأسياً ، سواء أكانت للإسكان ، أم للعمل ، أم للدراسة . وهذه قد تكونها مستويات فعالة أفقية ورأسية طولية أو عرضية تحدد فيما بينها فراغات مكعبة متكررة (شكل ٤٣٩) . والحوائط العرضية العمودية على الواجهة تكون فواصل للفراغات ، وتضع حدوداً على مرونة واستمرار المساقط . وهى فى ذروة كفايتها إذا كانت مستمرة وعلى أبعاد متساوية وعمودية على واجهة المبنى . غير أن بعض التعديلات ممكنة إذا ما اضطر إليها المعمارى انتفاعياً (شكل ٤٤٠) ، فمن الممكن ــ ولدرجات محدودة ــ عدم استمرار الحوائط وتكسيرها أو استعمالها مع أعمدة إذا كانت هذه التعديلات لازمة معمارياً . والحوائط الخارجية فى هذه الحالة

غير حاملة وبإمكانيات غير محدودة للفتحات اللازمة للإضاءة والتهوية . وللوصول إلى مرونة داخلية أكبر يصمم الغلاف الخارجى كسطح فعال حامل للأسقف مع كمرات وأعمدة داخلية . وفى هذه الحالة يلزم اختراق الغلاف الخارجى الفعال لتوفير الفتحات الخارجية اللازمة . وقد استعملت هذه الطريقة فى مجموعة مساكن هوت بوينت (Hotpoint) فى حى هاى جيت (Highgate) بلندن (شكل ٤٤١) . ويصلح كلا التوزيعين السابقين للمساكن ذات الوحدات المتلاصقة (Row Houses) والوحدات السكنية المرتفعة والفنادق ومبانى المكاتب ومثيلاتها ، والمنشآت ذات الطول الكبير والعرض الصغير (Slab Type) . أما المساقط المربعة فهى ذات احتياجات خاصة بالنسبة لحوائطها الحاملة ، وقد عرضنا من قبل الطريقة التى استنبطها المهندسان المعماريان أوليجى وأوليجى (Olgyay & Olgyay) والإنشائى بلا كيس (Bela Kiss) للإنشاء ذى الخلايا (Cellular Construction) باستعمال حوائط إنشائية مقواة بجوانب عمودية حسب احتياجات المسقط المعمارى . هذه الطريقة تلائم المساكن العالية والمنخفضة (شكل ٢٤٣) . وقد استعملت حوائط من قواطيع بسمك يتراوح بين ٢ و ٣½ بوصات ذات نهو خارجى خاص فى عمارة ذات ثمانية طوابق ببودابست[٥] . وفى هذه الطريقة يستغل الفراغ أقصى استغلال بحذف الأعمدة والكمرات غير المرغوب فيها والتى كانت تشغل أركان أو منتصف الحجرات . ونتيجة لاستعمال سقف ذى أعصاب فى الاتجاهين أصبح من غير الضرورى وجود القواطيع الحاملة على استقامة واحدة . هذا وقد وصلت البحور المتغيرة بين القواطيع إلى ثمانية أمتار كحد أعلى .

وهناك حلول أخرى للأبراج المتعددة الطبقات باستعمال القلب الإنشائى المسطح . وقد رأينا استعمال فرانك لويد رايت لهذا المبدأ فى معامل جونسون بقلب مكون من عدة أسطوانات خرسانية . أما فى تصميمه لبرج برايس (Price) بمدينة بارتلز ڤيل (Bartles Ville) بأوكلاهوما فقد استعمل قلباً إنشائياً من أربعة مستويات رأسية حاملة مكونة لحوائط داخلية متعامدة ، ومنها تبرز الأدوار المتكررة بحيث أصبحت الحوائط الخارجية غير حاملة (شكلى ٤٤٤ — ٤٤٥) . كما صمم مبنى المكاتب الرئيسية لشركة كولومبيا البريطانية فى مدينة ڤانكوڤر (Vancouver) بكندا على أساس قلب إنشائى خرسانى يحوى المصاعد والسلالم وناقلات البريد والمواسير والأنابيب الضرورية . ويحمل هذا القلب أغلب حمل أسقف المكاتب (شكل ٤٤٦) ، كما يقوم بدور هام فى مقاومة الرياح التى يتعرض لها مثل هذا المبنى العالى .

وكما سبقت الإشارة فى الفصل الثالث دخل سبق التجهيز مجال الإنشاء بالحوائط والبلاطات الفعالة . وقد استكشفت احتمالاته المعمارية فى المبانى السكنية التعليمية والصناعية . وسبق التجهيز من طبيعته أن

يفرض قيوداً على حرية المصمم على درجات متفاوتة، وهنا يجب أن نفرق بين معمارى المصنع – مصمم النموذج الأصلى – وبين معمارى الموقع الذى يختار بين النماذج والمنتجات المتاحة له ما يناسب احتياجات وظروف مشروع خاص . فالأول يتأثر بطبيعة الصناعة والإنشاء الجاهز وبإمكانيات النقل ، فيحاول أن يصل إلى التصميم الذى يتطلب أقـــل عدد ممكن من الوحدات مع أكبر عدد من احتمالات التغيير والتصرف على الموقع لاستيفاء أوسع احتياجات انتفاعية وجمالية . وهو يقدر أن كبر الوحدة الجاهزة يقلل فرص التغيير أمام معمارى الموقع . ففى الوحدات الكاملة التصنيع كالمستعملة فى الاتحاد السوفييتى مثلا، تأثر المصمم لنوع منها بطريقة الصناعة والتركيب (شكل ٩٨) فكون المسقط ذو الثلاث الشقق من باكيات ثابتة العرض والطول . والطابق الواحد يتكون من وحدتين كل منها غرفتان ودواليب ، ووحدتين كل منها غرفة وحمام ومطبخ وتواليت ووحدة حمام ومطبخ وتواليت وسلم . وقد كانت النتيجة واجهة عبارة عن صندوق مقسم إلى مربعات فى وسطها فتحة كبيرة للغرف وصغيرة للمطابخ والسلالم . ومن الطبيعى أن فى المجموعة السكنية المنفذة بالكامل من هذه الوحدات الجاهزة ستكون احتمالات التنويع والتغيير معدومة بالنسبة لمسقط الشقق وعدد الغرف والشكل العام للمجموعات السكنية . وعلى معمارى المصنع والموقع فى هذه الحالة إدخال تغييرات فى نهو الأسطح وفى ارتفاعات المجموعات وفى طرق توزيعها على الموقع مع تلافى وضعها فى صفوف متراصة ، الأمر الذى يلغى أى شعور بالفراغ والشخصية ويحولها إلى تكنات متراصة . ومن الطبيعى أنه كلما تعددت أنواع الوحدات الكاملة الجاهزة اتسعت أمام معمارى الموقع فرص الاختيار والتنويع .

واتجاه طريقة الإنشاء والصناعة إلى تصغير الوحدة الجاهزة إلى باكية من الحائط أو السقف يحرر معمارى المصنع نسبيًّا من قيود الصناعة . وعلى هذا المستوى يجد أمامه عدة طرق إنشائية يختار منها ما يناسبه ليبنى عليها تصميمه ؛ فقد يحمل الأسقف على الحوائط الداخلية العرضية المتعامدة على الواجهة . وهنا يجب أن يرتبط بباكيات ثابتة وحوائط عرضية مستمرة على خط واحد (شكل ٨٥) . وتتوافر فى هذا التصميم حرية كاملة فى عمل الحوائط الخارجية من مواد خفيفة غير إنشائية فيقدم منها لمعمارى الموقع ليختار بينها أو ليقيمها بنفسه على الموقع بمواده الخاصة . وأمام معمارى المصنع أن يحمل السقف على الحوائط الخارجية وأحد الحوائط الداخلية الطولية . هذا التوزيع يوفر حرية فى تنسيق الحوائط العرضية الفاصلة بين الحجرات، ولو أنه ينقص من الحرية فى التصرف فى الحوائط الخارجية على أساس طبيعتها الفعالة التى تتطلب فتحات صغيرة فى وسط الباكيات . وقد يستغنى المصمم عن

الحائط الطولى الأوسط ويستبدل به أعمدة وكمرات جاهزة داخلية تصل بينها حوائط غير حاملة . مثل هذا التصميم يحدد أمكنة الأعمدة ، إلا أنه يعطى لمعمارى الموقع حرية للتصرف فى الحوائط الداخلية باستعمال بانوهات جاهزة خفيفة الوزن .

وبتصغير حجم الوحدة الجاهزة إلى بانوهات للحوائط والأسقف ذات عروض مرتبطة بمعدلات جزئية من المعدل الإنشائى العام يمكن لمعمارى الموقع أن يتصرف بحرية أكبر فى مساقطه مرتبطاً بالمعدلات الجزئية والإنشائية . وكلما تنوعت مقاسات المعدلات الإنشائية اتسعت مجالات التصرف لمعمارى الموقع ؛ فقد تتراوح بحور بانوهات الأسقف مثلاً من باكية واحدة (٣,٠٠م إلى ٤,٠٠م) إلى باكيتين . وكلما اتسعت بحور هذه البانوهات ، سواء حملت على الحوائط الطولية أو العرضية ، تحرر المسقط المعمارى داخل حدود مواقع الحوائط الحاملة . والفتحات الخارجية فى هذه الحالة ترتبط بالمعدل الجزئى ومضاعفاته . ويلزم توفير بانوهات جاهزة لباكيات الفتحات بما فيها الجلسات والأعتاب . وقد استعملت طريقة (JU -60) فى يوغوسلافيا باكية مكونة من ٤ بانوهات (ـ,١ م×٢,٦٠م وسمك ١٢سم) ، وبذلك تكون أبعاد الوحدة الأساسية ـ ر٤م × ٤م . وهذه الوحدة تكون حجرات المعيشة والنوم ووحدة المطبخ والحمام بقواطيع داخلية (شكلى ٤٤٥ ، ٤٤٦) . ومع أن صغر حجم البانوه سبب كثرة اللحامات إلا أنها أعطت لمهندس الموقع حرية أكبر فى معالجة الواجهات . وفى تصميم آخر استعملت نفس الطريقة بانوهات للسقف بطول ٦,١٠ م . وعلى هذا المعدل وضعت الحوائط الحاملة فى اتجاه عرضى ، وبذلك سمحت المسافة بين كل حائطين حاملين لوضع وحدة سكنية كاملة كما هيأت الحوائط الحاملة عازلاً بين كل وحدتين . أما الحوائط الفاصلة بين الحجرات فهى غير حاملة من مواد خفيفة الوزن مرنة التوزيع (شكل ٤٤٧) .

ويتضح من الأمثلة السابقة أن لطريقة سبق التجهيز فى المصنع تأثيراً فى المساقط الناتجة ؛ فهى تفرض البساطة والتوحيد فى الأشكال والمقاييس ، كما أنها تتطلب وحدات مستقيمة مستوية . حيث إن الحوائط المستوية أسهل فى الصب والرفع والإمالة . كما يتطلب سبق التجهيز حوائط بفتحات صغيرة إذا كانت جزءاً من الوحدة المصبوبة ، حيث إن الفتحات الكبيرة تضعف الوحدة أثناء رفعها . وإذا لزمت الفتحات الكبيرة فمن المستحب أن تترك بين البانوهات كفراغات تملأ فيما بعد بشبابيك بالارتفاع الكلى أو بتربيعات زخرفية .

وبالجمع بين سبق التجهيز الجزئى فى المصنع أو الموقع لوحدات صغيرة ذات معدل ثابت وبين

الصب على الموقع * تتوافر نسبة أكبر من الحرية لمعمارى الموقع لأنه سيكون المتصرف فى مقاسات الوحدات مرتبطاً بالمعدل الثابت للوحدة الجاهزة الصغيرة (شكلى ٤٤٨ ، ٤٤٩) . هذه الوحدات الثابتة هى البلوكات الخرسانية الجاهزة للحوائط والبلوكات المتكررة للأسقف . وأطوال الكمرات الجاهزة بالموقع والحاملة للبلوكات المتكررة ، وبالتالى الأبعاد بين الحوائط – سواء أكانت طولية أم عرضية – أطوال حرة انتفاعية لا ترتبط إلا بمعدلات عروض بلاطات الأسقف المتكررة التى قد تتراوح من ١٥ إلى ٣٠ سم فى الاتجاه الطولى .

وعلى العموم لا يعتبر الارتباط بمعدل إنشائى لباكية أو باكيتين أو بمعدل جزئى كعرض بانوهات الحوائط وبلوكات الأسقف ضاراً بالعمارة ، بل هو تنظيم أساسى (Order) لعملية التصميم المعمارى . فبجانب النظام الانتفاعى يؤكد الارتباط بمعدلات ثابتة إنشائية أو أجزاء منها وحدة قياسية وشكلية للعمل المعمارى كله ، كما يضمن نسباً سليمة على أساس حسابى (Arithmatical proportion) . وبانتشار هذه الطريقة وتصغير المعدلات وتنويع تشطيبات الأسطح تتعد احتمالات المساقط وتتحول الطريقة إلى ميزة بدلا من أن تكون نقمة معمارية ، إذ سيتوافر عن طريقها تحسين مستوى التنفيذ والخدمات من أسطح وأرضيات وأعمال صحية وكهربائية مع حرية أكبر فى الاختيار والتنويع وسرعة فائقة فى التنفيذ .

الاتجاهات السابقة للإنشاء الصندوقى بالحوائط الحاملة سواء باستعمال وحدات جاهزة أو بالصب على الموقع تفرض وجود أسطح رأسية مستمرة أفقياً ورأسياً على باكيات ومعدلات ثابتة ، وفى هذا تقييد لحرية التصميم وتحديد لأنواع الفراغات الناتجة . فالمستوى الفعال بين فراغين يمنع استمرارهما كما يحدد فرص التغيير المستقبلة فى أحجام الفرغات ، الأمر الذى قد يصلح فى مبانى الفنادق مثلا ولا يصلح انتفاعيا فى مبانى المكاتب والعمارات السكنية حيث يتطلب الانتفاع مرونة واسعة وإمكانيات حرة غير محدودة . وهنا يكون الإنشاء الهيكلى بالأعمدة والبلاطات الحاملة ضرورياً ومثالياً . مثل هذا الإنشاء قد يتم عن طريق سبق التجهيز باستعمال أعمدة جاهزة مستمرة بين دور وآخر تحمل كمرات جاهزة وبلاطات للأسقف مع توفير التماسك عن طريق خرسانة تصب على الجميع . وقد تستعمل حوائط خارجية حاملة مع الأعمدة الداخلية ، وذلك لضمان متانة الإنشاء وتماسكه .

---

* راجع الفصل الثالث بالنسبة لتفصيلات هذا الاقتراح .

وقد سبق لنا أن تعرضنا فى الفصل الثالث لنوع من سبق التجهيز على الموقع بالبلاطات والأعمدة وهى طريقة البلاطات المرفوعة على أعمدة حديدية أو خرسانية مستمرة . هذه الطريقة ولو أنها لا تربط المعمارى بمعدلات لوحدات جاهزة إلا أن طبيعة الإنشاء والتشغيل تضع بعض القيود على التصميم المعمارى . فاستمرار الأعمدة من طابق لآخر هو ضرورة إنشائية ، كما أنه من الأفضل وضع الأعمدة على محاور واحدة فى الاتجاهين . ومن الضرورى الاحتفاظ بشكل خارجى منتظم للبلاطة وذلك لانتظام عملية الرفع الآلية . كما أننا نجد أن بروز البلاطات عن الأعمدة الخارجية هو مظهر أساسى فى البلاطات المرفوعة تتطلبه ضرورة إحاطة الأعمدة ببلاطة خرسانية صماء من جميع الجهات . ومن النتائج المعمارية لهذه الطريقة تفادى وجود فتحات فى البلاطة كالسلالم والمصاعد بجوار الأعمدة . وقد سبقت الإشارة إلى ضرورة تقسيم الأسقف بحيث تكون أعمدة كل قسم فى حدود ٣٦ عموداً ، وهو العدد الأقصى إلى الآن لتشغيل روافع تحت تابلوه رفع واحد .

وفى الإنشاء العادى المصبوب على الموقع يمكننا أن نصل إلى المرونة الأفقية الشاملة فى المسقط مع الاستمرار الهندسى والمادى فى البلاطات الفعالة ، وذلك بتحميلها على أعمدة خطية على معدلات تتمشى مع المسقط العام . وهنا يلزم نقل أحمال البلاطات إلى الأعمدة عن طريق كمرات ساقطة بما فيها من تشويه لاستمرار السقف وتداخل فى سريان الإضاءة ومواسير التغذية والتكييف وصعوبة فى عمل الشدات . وقد تنقل الأحمال عن طريق رؤوس أعمدة مشرومية مع حذف الكمرات ، وهنا تتصل الأعمدة بالأسقف بمنحنى مستمر . مثل هذه الأعمدة تستعمل بكفاية لتحمل أسقفاً تتعرض لأحمال ميتة عالية ، وذلك على باكيات كبيرة فى الاتجاهين (حوالى ٦ أمتار) كما فى الجراجات والمخازن ونحوها . واختفاء سقوط الكمرات فى هذا الإنشاء يوفر فى الارتفاعات الصافية للطوابق ، كما يسهل مرور مواسير التغذية والتدفئة ونحوها . وقد قابلنا استعمالات لها فى كثير من المخازن التى صممها مايار وهى تعتبر من أوائل استعمالاتها المعمارية (شكل ١٧١) . والأعمدة قد تأخذ رؤوساً على أشكال مختلفة ومنها الرأس المخروطى على أعمدة أسطوانية بزوايا مختلفة وهو قطاع شائع فى الولايات المتحدة ، وقد استعمل فى مصانع (Fisher) للطائرات فى ولاية أوهايو على بواكى ١٥ متراً من المحور إلى المحور . كما استعمل مايار أعمدة مثمنة فى مخزن الحبوب الفيدرالى فى التدورف بسويسرا (شكل ١٧٢) . وجميع هذه الأعمدة تأخذ شكلا انسيابياً مع السقف إلا فى حالات الأحمال الثقيلة ، فإن الرؤوس تأخذ شكلا

هرمياً كما فى مصنع السادة بوتس (Boots) للأدوية فى مدينة بيستن (Beesten) بإنجلترا (شكلى ٥٨٧ ، ٥٨٨) . وقد تلغى هذه الرؤوس الخرسانية تسهيلا للشدات مع استبدالها بموزع للأحمال من الصلب يدفن فى البلاطات والأعمدة ذاتها ، وهنا ترتكز بلاطات على أعمدة خطية ارتكازاً مباشراً نقياً بسيطاً فى مساقط ذات باكيات منتظمة وفى فراغ مستمر مفتوح أفقياً ومحدود رأسياً بالبلاطات المتماسكة المستمرة .

٩

التشكيلات المعمارية بالوحدات الخطية

كلما قلّت وظيفة الإنشاء كمغلف للفراغ اتسعت إمكانيات التفتيح والتغيير الخارجى . وفى المبانى التى تتطلب مثل هذه الصفات فإنه من الأوفق الالتجاء إلى الإنشاء الخطى بالخرسانة المسلحة المغلف بوحدات غير فعالة مع ما فى هذا التكوين من نقص فى الكفاية الإنشائية . مثل هذا الإنشاء أسهل من ناحية إمكانيات التشييد وأطوع لعمليات سبق الصب والإجهاد ، الأمر الذى يبرر استعماله للبحور الصغيرة أو المتوسطة ، ذات الطابع المتكرر المرن .

الوحدات الخطية المنحنية : بالإنشاء الخطى يمكن الوصول إلى تكوينات خطية مستمرة راسمة للفراغ وذلك بتقاطع أضلاع دائرية مكونة لقباب هيكلية (قباب شويدلر وزايس دويداج والقباب الجيوديسية) مغلفة ببلاطات سابقة الصب خفيفة الوزن . هذه البلاطات تحذف وتحل محلها فتحات زجاجية فى أى موضع على المسطح الكروى وبأى مسطح مطلوب دون تأثير فى قوة المنشأ وتماسكه .

ومن الأمثلة المبكرة لاستعمال الإنشاء الهيكلى فى الأشكال الدورانية قبة صالة العرض المئوية (Centenery Hall) فى برسلاو بألمانيا (شكل ٤٥٠)، وقد استغل هذا الإنشاء فى عمل صفوف مدرجة من الفتحات الرأسية للإضاءة . ومن الأشكال الدورانية الممكنة بالإنشاء الهيكلى شكل زنبقة الصباح وهى تعطى محيطاً مفتوحاً بالكامل ، وأعمدة داخلية مفتوحة ، بحيث يمكن ضم الفراغ الداخلى إلى الفراغ الخارجى المحيط . وقد أنشئت سقيفة للماكينات بمدينة أڤينيون (Avignon) بفرنسا على شكل مظلة مقلوبة بصفين دائريين من الأعمدة الخارجية والداخلية[1] (شكل ٤٥١) ، وهى ذات قطر خارجى ٤٣٦ قدماً . وقد استعمل المعماريان الأمريكيان ريموند ورادو والإنشائيان ويدلنجر وسالڤادورى قبة مقلوبة على شكل طبق هيكلى حامل لنفسه ذى قطر ٨٠٠ قدم من أعلى ؛ وذلك للاستاد المقترح لجلوس ١٠٠ ألف متفرج (شكلى ٤٥٢ — ٤٥٣) . وفيه تبرز الضلوع الحاملة العرضية مسافة ٥٠ متراً عن القاعدة. هذه الضلوع محملة على حلقات شد دائرية من الصلب ، وبذلك ألغى التصميم الحاجة إلى هيكل أو حوائط حاملة تحت المقاعد وخلت المساحة التى تحت المدرجات لانتظار العربات ، كما ألغيت مسافات المشى البعيدة بين أماكن الجلوس والعربات . هذا وترتكز بلاطات سابقة الصب على هذه الهياكل لتهيئ أماكن للجلوس (شكل ٤٥٤). ومن المهم ملاحظة أن استعمال هذا الإنشاء الخطى سيمكن من إنشاء الاستاد على مراحل . وقد اشتمل التصميم على أربع مراحل تزداد عدد المقاعد مع كل مرحلة (شكل ٤٥٥) .

الهياكل الدورانية السابقة تناسب المساقط الدائرية أو البيضاوية . وهى باستمرار هياكلها الرأسية أو

الأفقية أو الاثنين معًا تعطى هياكل قوية رشيقة وغلافًا مفتوحًا . وللمساقط المستطيلة يمكننا استعمال العقود المتكررة بأشكالها ذات القطاع المكافئ أو الناقص أو الأسطوانى . وقد استعملها نيرفى متقاطعة على شكل لاميلا لتغطية ست حظائر طائرات فى إيطاليا (شكل ٤٥٦) ، وقد كان سبق صب وحدات الجمالون الخطية من ميزات بعض هذه الحظائر . وقد توافرت فتحات كبيرة عند مستوى الأرض باستعمال هياكل فراغية تتلقى الدفع الجانبى من القفص المتشابك وتنقله إلى دعائم ضخمة مائلة .

ومن أهم مميزات العقود الهيكلية إتاحة أكبر مقدار ممكن من الإضاءة مع أقل عائق إنشائى فوق وعلى مستوى الأرض . وقد رأينا من قبل استعمال بيريه لعقود دائرية فى مصانع ملابس إسدير عام ١٩١٩ (شكل ٥٣). والعقود هنا تحمل كمرات أفقية وهذه تحمل سقفًا زجاجيًّا أفقيا بكامل مسطح الفناء الداخلى المسقوف . ونظراً لعيوب هذه الإضاءة الأفقية فقد تطور هذا الاستعمال ليهيئ إضاءة رأسية بين أسقف أفقية خرسانية مدرجة ومحملة على الهيكل المنحنى . وقد انتشر ذلك الاستعمال فى صالات المعارض والساحات الرياضية والأسواق التجارية . ومن أمثلة ذلك الاستعمال فى حمام السباحة فى نورثهامبتن بإنجلترا وكنيسة سانت جان بابتست (St. Jean-Baptiste) فى مولينبك (Moolenbeck) ببروكسل ببلجيكا (شكل ٤٥٧) . ونحو تطور آخر فى الإضاءة العلوية استعملت عقود غير متماثلة للإضاءة الرأسية الشمالية فى مطبعة دبدن (Debden) بإيرلندا (شكل ٤٥٨) . والعقود المستعملة ذات البحر البالغ أربعين متراً نفذت بعمق ٣ أمتار . وقد بولغ فى هذا العمق للإقلال من البريق الناتج عن هذه الإضاءة الشمالية القوية .

والهياكل الخرسانية الخطية المنحنية ذات فوائد معمارية كبيرة فى تركيزها الإجهادات الخاملة فى نقط محدودة فى المسقط والقطاع . ومن أهم استعمالاتها فى التطور الإنشائى الحديث استعمالها كوحدات انضغاط للأسقف المعلقة . وقد صادفنا من قبل استعمالها كحلقة انضغاط دائرية لأسقف معلقة ذات قطر بلغ ١٠٠ متر فى إستاد المعرض الصناعى بمدينة مونتفيديو بأوروجواى (شكل ١٤٥) وفى سقف عجلة الدراجة المعلق للصالة الدائرية بقطر ١١٠ أمتار للجناح الأمريكى بمعرض بروكسل سنة ١٩٦٠ (شكلى ٤٥٩ ، ٤٦٠) . ويقدر الإنشائى ليف زتلن (Lev Zetlin) مصمم السقف المعلق لصالة الاجتماعات البلدية لمدينة يوتيكا (Utica) بولاية بنيويورك بحورا تزيد على ١٨٠٠ ق.م لمثل هذا النوع من الأسقف فى المسارح والاستادات والمتاجر والمصانع[٢] .

ولتفادى الاهتزازات فى الأسقف المعلقة تتخذ هذه الحلقات الخطية الخرسانية أشكالا بيضاوية

غير مستوية (Skew Ring) . وهى بهذا الشكل تحمل سقفاً معلقاً على شكل القطاع الزائدى المكافئ ذى الانحنائين المتضادين . وقد استعمل هذا التكوين فى صالة الاجتماعات بمدينة كارلسروه بألمانيا (شكل ٤٦١) . كما يتكون مثل هذا السقف المعلق باستعمال هيكلين مائلين متقاطعين على شكل القطاع المكافئ وقد رأينا أمثلة منها فى ساحة مدينة راليه بولاية كارولينا الشمالية. (شكلى ٤٦٢ ، ٤٦٣) وفى صالة اجتماعات الكونجرس ببرلين الغربية (شكلى ٤٦٤ ، ٤٦٥) من تصميم المعمارى هيوج ستابنز (Hugh Stubbins) والإنشائى فرد سيفرد (Fred Severud) .

كما يمكن استعمال عقد مكافئ أوسط كحامل لسقفين معلقين متزنين على جانبيه . والسقفان على شكل القطاع الزائدى المكافئ مرتكزان بين العقد وبين حوائط منحنية جانبية كما فى حلقة التزحلق على الجليد فى جامعة ييل (شكل ٤٦٦). وقد اقترح المهندسان سيفرود وكوربلليتى (A. Corbelletti) تصميمات لأسقف معلقة باستعمال عقود خرسانية [٣] ، ومنها اقتراحهما لسقف مرتكز على عدد من عقود ذات القطاع المكافئ والمنتهية بعقدين مائلين على الجانبين . مثل هذا السقف مناسب للساحات الرياضية وحلبات السباق وغيرها من الصالات الكبيرة .

ومن الممكن حمل أسقف مسطحة على عقود رأسية أو مائلة (شكلى ٤٦٧ ، ٤٦٨) . هذه التكوينات شائعة فى تصميم الكبارى فى أوربا . فالكوبرى السويدى على نهر أنجر منالف (Angermanalv) فى مدينة هامر (Hammar) يتكون من أربعة أزواج متتالية من العقود، بحر كل منها ٢٦٣ قدماً تحمل الطريق المعلق (شكل ٥٥٨) . واستعمال مثل هذا التكوين فى العمارة اقتصر على فراغات ذات دور واحد ، واحتمال استعمالها فى طبقات متكررة ما زال ينتظر محاولة عملية (شكل ٤٦٩) . وفى هذه الحالة يمكن صب البلاطات على الأرض الواحدة فوق الأخرى، ورفعها بواسطة الكابلات الحاملة إلى مواضعها النهائية . مثل هذه الفراغات تتميز بحرية داخلية كاملة .

ويشكل سبق التجهيز أقوى العوامل التى تشجع على استخدام العقود الثلاثية المفصلات ذات البحور الصغيرة أو المتوسطة . ومصاعب النقل هى التى تحد من بحور هذه القطع المصبوبة فى المصنع . وقد ظهر نوع من هذه الهياكل فى إنجلترا (شكل ٤٧٠) ببحر لم يزد على ٤٠ قدماً بسبب النقل . غير أن الصب على الموقع ثم الإقامة لمثل هذه الهياكل قد يزيد إمكانيات البحور إلى ١٥٠ قدماً . وفى الولايات المتحدة استعملت عقود سابقة الصب ثلاثية المفصلات ذات بحر ٧٥ قدماً فى جمنيزيوم مدرسة واشنجطن كارفر (Washington Carver) فى ميامى بفلوريدا [٤] . وفى مجال الإسكان ظهرت

أنواع ومقاسات مختلفة للهياكل الجاهزة فى المصنع ، ومنها هياكل منزل فى نوكس ڤيل (Knoxville) ببحر ٢٧ قدماً ، وهى تحمل بلاطات جاهزة (شكل ٤٧١) . وقد تطورت أشكال أخرى فى أمريكا (شكل ٤٧٢) ويشتمل (شكل ٤٧٣) على احتمالات أخرى فى نفس الاتجاه .

وعموماً يتجه سبق التجهيز للهياكل بالتصميم إلى الأشكال البسيطة بتغييرات ضئيلة فى الارتفاع . وهو يحدد مقاسات المبانى بما يقدمه المنتج . وكلما توسع هذا الإنتاج بزيادة المطلوب اتسعت دائرة الاختيار . كما يمكن أن يحرر المصمم نفسه من قيود هذه الهياكل بفصل الإنشاء عن الحوائط الفاصلة غير الحاملة .

الوحدات الخطية المستقيمة : هذه الوحدات واسعة الاستعمال فى المبانى المتعددة الأدوار حيث تصبح المرونة المطلقة عنصراً هاماً فى التصميم . وفى هذه الحالة قد تصب البلاطات مع الأعمدة أو تتكون من بلاطات سابقة الصب ترص فوق الهيكل الإنشائى . مثل هذه الطريقة ولو أنها تفقد الاستمرار المادى بين الأعمدة والكمرات والبلاطات إلا أنها توفر المرونة كاملة فى الاتجاهين الأفقى والرأسى لاحتمالات التغيير المستقبل ، الأمر الذى لا يتوفر بالبلاطات المستمرة . هذا الإنشاء الهيكلى بالصلب والخرسانة أصبح رمزاً للإنشاء المعمارى الحديث .

والامتداد الرأسى هو خاصية مميزة لاستعمال الخرسانة المسلحة فى الإنشاء الهيكلى . فالعمود الخرسانى عنصر رأسى مستمر مادياً تتفرع منه الكمرات فى وحدة متكاملة . غير أنه من الممكن فى هذا الإنشاء لأغراض انتفاعية حذف مجموعة من الأعمدة فى دور من الأدوار كالدور الأرضى مثلا للحصول على بحور واسعة وذلك باستعمال جمالونات ڤيرنديل* (شكل ٢٢٣) .

وتمتاز الخرسانة المسلحة عن غيرها من المواد الإنشائية فى مجال الأعمدة بإمكانيات تشكيلها الواسعة لخدمة أغراض التصميم المختلفة . فالأعمدة الخرسانية على أشكال دائرية أو أشكال القطاع الناقص تكون أقل عائق مادى وبصرى (شكل ٤٧٤) . وقد رأينا من قبل استعمالات بيريه للأعمدة الاسطوانية المسلوبة إلى أسفل فى متحف الأشغال العامة بباريس . وقد كان هدفه زيادة قطاع العمود عند اتصاله بالسقف الخرسانى . وقد اتجه نيرڤى فى نفس الاتجاه فى مشروعه لمحطة السكك الحديدية بمدينة نابلى حيث استعمل أعمدة صليبية يزيد مقطعها إلى أعلى لتتحد مع سقف لاملا أفقى (شكلى ٤٧٥ ، ٤٧٦) . والخرسانة تتيح إمكانيات لتشكيل الأعمدة لتنقل أحمالها إلى الأرض بأيسر السبل ، فهى

* يتكون الحائط الخارجى بمبنى بنك الأمة (Bank of the Nation) فى بيونس أيرس بالأرجنتين من جمالون ڤيرنديل خرسانى من أربعة أدوار ذو بحر ٨٣ قدماً ، وقد أمكن بهذا الاستعمال الوصول إلى مسقط أرضى مفتوح لا تشغله إلا أعمدة النواصى الخارجية (٥) .

تتشكل لتستقبل الأحمال وتميل فى اتجاهاتها لنقلها إلى الأرض بأقل جهد ممكن (شكل ٤٧٦) . وهى تتصل ببعضها وتندمج من فرعين أو ثلاثة أو أربعة لتصل إلى الأرض فى نقط مركزية وبهذا تعطى أقل عائق مادى على مستوى الأرض . مثل هذا التكوين يوفر بحوراً أوسع ، وقد استعمله نماير فى مبنى الزراعة بريو دى جانيرو (شكل ٤٧٧) ، وفى عمارته بحى هانزا ببرلين .

وبجانب الإمكانيات الواسعة فى تغيير مسطح الأعمدة الخرسانية فمن الممكن تغيير اتجاه عزم القصور الذاتى بين قاعدة العمود الخرسانى وقمته بحيث يستقبل العمود الأحمال الواقعة عليه وينقلها إلى الأساسات فى أنسب الأوضاع والاتجاهات . وقد استغل نيرفى هذه الإمكانية بنجاح فى الأعمدة المحيطية المائلة الحاملة لقبة قصر الرياضة الكبير فى روما (شكل ٤٧٨) .

مثل هذه المرونة فى التشكيل متوافرة بالنسبة للكمرات الخرسانية أيضاً ، فهذه يمكن تفتيحها أو تفريغها لمرور أنابيب أو مواسير التكييف أو التدفئة ونحوها ، كما يمكن تشكيلها على شكل جمالون ڤيرنديل لزيادة قوتها مع تخفيف وزنها . هذه الجمالونات بفتحاتها الكبيرة وضلوعها الرأسية تجعل من الممكن أن تكون الجمالونات أدواراً كاملة تتخللها فتحات النوافذ الخارجية والأبواب الداخلية .

ولطبيعة الخرسانة المسلحة نجد أن الأعمدة الخرسانية قد تصل إلى أحجام كبيرة إذا ما تعرضت لأحمال ثقيلة وخاصة فى المنشآت العالية ، وهى الحالة التى قد تتداخل مع استعمال الفراغ . ويمكن تلافى ذلك باستعمال الأعمدة المركبة (Composite columns) المكونة من قطاعات من الصلب الإنشائى والخرسانة . ولخفة وزن هذه القطاعات الإنشائية أمكن فى عمارات كوارى هل (Quarry Hill) بمدينة ليدز (Leeds) بإنجلترا إنشاء هيكل ذى ثمانية طوابق من قطعة واحدة . وقد وفر ذلك الهيكل إقامة الشدات الغالية الثمن اللازمة للخرسانة المصبوبة على الموقع ، وبذلك اجتمعت ميزات تماسك واستمرار الإنشاء الخرسانى مع سهولة إقامة الصلب .

وبدخول سبق الإجهاد مجال الكمرات الخطية المستمرة أمكن الوصول إلى البحور الكبيرة بالإنشاء الهيكلى المستمر بأعماق قليلة نسبياً . فى مجال إنشاء « الكبارى » استعملت طريقة فريتز ليونهاردت ووصلت لنسبة عمق إلى بحر تقارب نسبة الصلب (شكل ٢٠٥) . والاستعمال المعمارى لهذه الطريقة سيزيد بحور الباكيات الاقتصادية ويقلل من أعماق الكمرات الخرسانية . مثل هذه الباكيات والأعماق ستكون ذات تأثير انتفاعى واقتصادى كبير فى التصميم المعمارى .

الإنشاء بالعمود والكمرة : تقسيم الهيكل الإنشائى الخرسانى إلى وحدات صغيرة خفيفة منفصلة يسهل عملية سبق تجهيزه وإجهاده ، كما يسهل عملية تجميعه على الموقع ، ولو أنه يقلل من كفايته الإنشائية . وهذا جائز فى المبانى المؤقتة ذات الدور الواحد حيث الأحمال قليلة والبحور صغيرة وضغط الهواء ضئيل . وقد وصلت بعض هذه الطرق مثل طريقه سيمنستون (Cemenstone) إلى بحور بلغت ١٧ متراً . وللبحور الأكبر يفضل استعمال الجمالونات السابقة الصب كبديل للكمرات الثقيلة . وهذه من الممكن سبق إجهادها للوصول لقطاعات أخف . وقد وصلت هذه الجمالونات الجاهزة فى ألمانيا لبحر ٣٠ متراً .

وقد اتسع أخيراً استعمال سبق الإجهاد لإنتاج الكمرات والتطريحات والبلاطات التى ترتكز على الأعمدة ارتكازاً بسيطاً . ورغم فقدان ميزة الاستمرار والتماسك المادى فى هذا الإنشاء فإن كفاية سبق الإجهاد ما زالت تؤكد نفسها فى إنتاج أسقف غير عميقة خالية من الشروخ . وقد غطيت صالة مساحتها ٢٤٠٠٠متر مربع فى مصانع ساڤارين (Savarin) فى باليسيد بارك (Palisade Park) بنيوجيرسى بكمرات جاهزة سابقة الإجهاد (شكلى ٤٧٩ ، ٤٨٠) ذات قطاع على شكل « I » وعمق ٣٠ بوصة وبأطوال مختلفة . وهى تحمل استرباحات وحشوات تكسية للسقف سابقة الصب .

ومن الاستعمالات الحديثة لسبق الإجهاد فى العمارة استغلاله لتحقيق الاستمرار للوحدات الصغيرة السابقة الصب لتكون وحدة إنشائية متماسكة . وهذا الأسلوب الذى استخدمه فريسينيه فى كباريه ذات الكمرات الصندوقية (شكل ٢٠٤) اقترحه المهندس كوف للمبانى المتعددة الطوابق ، وهو اقتراح جدير بالتطبيق العملى حيث يكون حذف الشدات ذا تأثير اقتصادى كبير [٦] . فمن بلوكات خرسانية متجاورة مجمعة بالإجهاد اللاحق يمكن إنشاء بانوهات متراصة الواحدة بجوار الأخرى بدون استعمال شدات بتاتاً . مثل هذا الاستعمال يجمع الوفر الناتج عن إلغاء الشدات مع سبق الإجهاد وما يوفره فى كميات الحديد والاستمرار الموجود فى الكمرات المصبوبة على الموقع .

الإنشاء بالعمود والعتب يتعارض مع طبيعة الخرسانة المسلحة . غير أنه من الجائز استعماله فى حالة المنشآت المؤقتة الجاهزة حيث يتطلب الاستعمال الفك وإعادة التركيب كمنشآت التخزين أو انتظار السيارات والسكك الحديدية أو الأسوار . وفى جميع هذه المنشآت تحل الخرسانة محل الإنشاء الخشبى حيثما تقل الأخشاب وتتواجد مكونات الخرسانة ، وحيث تتطلب الأحوال مادة مضادة للحريق دائمة لا تتطلب صيانة مستمرة كما هى الحال فى المنشآت الخشبية . مثل هذه المنشآت الصغيرة النائية التى لا تستدعى تعقيدات إنشائية سوف تجد فى أقدم طرق الإنشاء ، منفذة بأحدث المواد الإنشائية ، حلاً مناسباً بسيطاً لا يستدعى أى تعقيدات إنشائية .

١٠
السطح والشكل الجمالى

لا يكمل أى تحليل معمارى إلا إذا شمل مناقشة للجانب الجمالى . ومع أن محتويات الفصول الثلاثة السابقة هى جزء لا يتجزأ من المظهر الجمالى لعمارة الخرسانة المسلحة فإن المناقشة فيها تركزت على عوامل الكفاية الإنشائية والاقتصادية واستعمال الفراغ لسد حاجات انتفاعية مختلفة ، والآن حان الوقت لكى نرى كيف أوحت الخرسانة المسلحة ، وفى بعض الحالات فرضت تكويناتها الأصيلة ، وكيف خلقت لغتها الجمالية الخاصة .

ولغرض تحليل مكونات العمل الفنى وتأثيرها فى التجربة الجمالية سيقوم العرض التالى فى الفصلين القادمين بفحصها على مستوياتها الثلاثة ذات الأعماق المختلفة ، وهى مستويات السطح والشكل والتعبير أو الموضوع . هذه المستويات متداخلة ؛ بمعنى أن الشكل يتكون من مجموعة مسطحات ، والموضوع أو التعبير ينتج عن تنظيمات معينة فى السطح والشكل الفنى .

وعلى الرغم من أن جميع مستويات الاستمتاع الجمالى متداخلة ، دون استثناء لمسائل الموضوع الفنى ذاته ، فإننا لغرض الدراسة التحليلية سنفحص المستويات المختلفة كلاً على حدة لدراسة احتمالاتها بالخرسانة المسلحة ، وسنرى مدى تأثير الواحدة على الأخرى .

وسنخصص الفصل الحالى لدراسة الاستمتاع البصرى بالسطح والشكل تاركين التعبير الموضوعى للفصل القادم .

السطح الجمالى :
(Aesthetic Surface)

السطح الجمالى فى العمارة هو الخاصية الجمالية التى يعرضها العمل المعمارى للمشاهد الذى يكتفى بالنظر إلى السطح دون أن يتعمق فى الإنشاء أو الغرض أو علاقة الموضوع بالعالم الخارجى . والحواس التى تتداخل فى الاستمتاع بالسطح الفنى المعمارى هى حاسة البصر وحاسة اللمس . واللون والملمس هما المتغيران فى أيدى المعمارى للتصرف فى السطح الجمالى الناتج .

هذا وقد اتجهت العمارة فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر نحو غنى السطح عن طريق زخارف وكرانيش وتماثيل الطرز التاريخية السابقة . امتد هذا الاتجاه لفترة محدودة فى القرن العشرين وانتقل عن طريق الفن الجديد إلى الزخارف الخطية باستعمال وحدات نباتية أو هندسية . وكرد فعل لهذه الاتجاهات الزخرفية المقلدة اتجه فنانو ومعماريو اتجاهات التكعيبية والتجريدية (De Stijl) ومن بعدهم الوظيفيون والدوليون إلى الابتعاد عن الطرز التقليدية ، وذلك بإلغاء الدور الجمالى للون والملمس ، واتجهوا إلى استعمال المسطحات المجردة المستوية الملساء . كما استعملوا الألوان النقية

الأساسية لتحديد الفراغ . وامتداداً لهذه الفلسفة ألغوا استعمال الحجارة والطوب المكشوف ، والأخير امتازت به أعمال معاصرهم المهندس الهولندى برلاج ، على أساس أن هذه المواد تعطى أسطحاً ذات ألوان متدرجة وملمساً خشناً غير محدد . كما ابتعدوا عن استعمال الخرسانة المكشوفة التى امتازت بها أعمال بيريه واتجهوا إلى أسطح البياض الناعمة . ومما شجع على ذلك أن هذه الكسوة التى يسهل التحكم فى ألوانها وأسطحها وزواياها تغطى عيوب المواد والإنشاء الخرسانى السريع . مثل هذا الاتجاه يركز على أهمية الشكل العام ويحرم المشاهد من استماع جمالى بالسطح ، وهو جزء لا يتجزأ من الاستمتاع الجمالى الكامل . وككل اتجاه متطرف مصيره إلى الاعتدال والاتزان ، عاد جزء كبير من المعماريين والفنانين ، وبخاصة بعد الحرب العالمية الثانية ، إلى استعادة هذه الخسارة المعمارية الكبيرة واتجهوا تحت تأثير لوكوربوزييه إلى أصالة السطح بما تحمله من إمكانيات فى الملمس واللون .

اللون : الاحتمالات المختلفة فى الألوان (Hues) تشمل ثلاثة ألوان نقية وهى الأصفر والأزرق والأحمر وبينها ثلاثة ألوان أخرى ؛ وهى : الأخضر ، والبنفسجى ، والبرتقالى ؛ وهذه تقع فى منتصف الألوان النقية . والألوان الستة الرئيسية يمكن ترتيبها على دائرة الألوان (Hues circle) وهى تمثل سلماً دائرياً متدرجاً فى القيمة (درجة الضوء فى اللون) من الأصفر إلى البرتقالى ثم الأحمر فالبنفسجى والأزرق ، وهو أقل الألوان قيمة عائداً إلى الأخضر والأخضر المصفر . وفى داخل كل لون تتفاوت القيمة بإضافة الأسود أو الأبيض — فالأسود يخفضها والأبيض يرفعها ، كما تتفاوت الألوان فى الشدة (Intensity) على مقياس من درجات متساوية من محور رمادى محايد خارجاً إلى أكبر تركيز للون . ومن دائرة اللون مع احتمالات تدرجات القيمة والشدة يختار المعمارى من إمكانيات واسعة فى الألوان .

والتأثيرات المختلفة للألوان على المشاهد كانت ولا تزال محل تجارب عديدة ، وعلى تجارب بولوه (Bullough) بنيت الاستنتاجات التالية [1] .

الخرسانة المكشوفة غير المعالجة لها لون رمادى مخضر باهت ينتج عن استعمال معظم الأسمنتات التجارية العادية ، وهو لون غير نقى أساسه اللون الأخضر المعتاد، لأنه لا يظهر أعلى شدة تشبع بأى لون بالذات . وهو لون محايد بالنسبة لتأثيراته الثانوية من ناحية الإثارة (Stimulation) [2] . ومع أن الأخضر لون متغير أو بالأحرى خفيف الإثارة إلا أنه موجود فى الخرسانة بصبغة رمادية، بعيداً كل البعد عن التشبع الذى ينبغى توافره لتحقيق الإثارة المطلوبة . والحرارة من الصفات الثانوية للألوان ، فالبرودة التى تصاحب استعمال الخرسانة تجعلها غير مقبولة غالباً . وهذا الشعور الذى يلازمها يرجع إلى طبيعة

لونها ؛ فالأخضر لون بارد ، وبخاصة إذا لم يكن مشبعاً ، وهى الحالة التى توجد عليها الخرسانة [٣] .

واستعمال الخرسانة بلونها الطبيعى آخذ فى الانتشار ، وكلما زاد ذلك الاستعمال تقبلت الحواس البصرية هذا اللون على طبيعته كلون محايد ، قليل الشدة ، ثابت على مرّ الزمن ، قليل التأثر بالعوامل الجوية المختلفة من شمس وأمطار وأتربة . وقد أصبح هذا الاستعمال المكشوف — بعد المعالجة اللازمة لزيادة المقاومة ضد الصقيع — مقبولا فى كثير من دول أوربا (شكل ٤٨١) وفى أمريكا واليابان (شكل ٤٨٢) .

وقد دفع لوكوربوزييه هذا الاتجاه بالخرسانة دفعة فنية قوية ، وبخاصة بعد تجاربه السابقة بأسطح البياض وما اعتراها من تشققات وعيوب نتيجة لعدم تحملها لعوامل الطقس من برودة وحرارة وأتربة ونحو ذلك . وقد اتبعه فى ذلك مهندسو الجيل الجديد فى اليابان ويظهر ذلك فى أعمال المهندس كونيو مايكاوا (Kunio Mayekawa) الذى عمل مع لوكوربوزييه وتأثر به وأهمها مسرح سيتاجويا (Setagoya) ومجموعات هارومى (Harumi) السكنية بمدينة طوكيو ، وأعمال المهندس كنزو تانجى فى دار مجلس مدينة كوراشيكى (Kurashiki) (شكل ٤٨٣) .

ومن أهم أسس نجاح استعمال اللون الطبيعى بالخرسانة مراعاة إضافة ألوان أخرى معه على بعض الحوائط أو بطنيات الأسقف أو الأسوار ، وذلك لخلق تكوينات ناجحة باللون تلعب فيها المسطحات الخرسانية دوراً أساسياً . وتسيطر على هذا التقسيم القواعد العامة للتكوين بالألوان . فالخرسانة بلونها المحايد الأخضر — الرمادى قليل الشدة ، إذا ما استعملت فى الأعمدة والأسقف والحوائط ، تكوّن المسطح المتغلب فى المبنى . وهى إذا استعملت مفردة بدون ألوان أخرى تكون واجهات ودواخل ميتة قليلة الإثارة البصرية ، وهى إذا ما اجتمعت مع مجموعة من نفس اللون مع الاختلاف فى الشدة والقيمة تعطى تكويناً مفرد الألوان (monochromatic) . وفى هذه الحالة يكون الاختلاف فى الشدة بالنسبة للون الأخضر . مثل هذا التكوين يعطى تأثيراً بالوقار والوحدة والقوة ، ولكنه قد يصل إلى الملل إذا لم يضف إليه مسطح من لون قريب من اللون المتكامل مع الأخضر ؛ وهو البرتقالى المحمر ، أو الأحمر — البنفسجى ، فى مسطح صغير ، وبشدة قوية . وقد يتم التصميم على أساس لونين أو ثلاثة مع المحافظة على البساطة والتنويع ؛ وفى هذه الحالة قد يكون التكوين متجاوراً (Neighboring colors) باستعمال الألوان المجاورة للأخضر وهى الأصفر المخضر ، أو الأزرق المخضر . وقد يكون التكوين متناقضاً (Contrasting) باستعمال لونين مجاورين للون المتكامل للون الأخضر أى البرتقالى المحمر والأحمر — البنفسجى . وقد يستعمل اللون

الأحمر كلون متكامل مكوناً لأعلى درجات التناقض . وفى كلتا الحالتين سيلاحظ أن التأثير البصرى للون الخرسانى الرمادى سيتحسن بازدياد اللون الأخضر تركيزاً على أساس ظاهرة التناقض المنطبق ، والتى تشير عن طريق التجارب إلى أن أى لون يشع على اللون الرمادى المحيط به اللون المتناقض معه .

وفى جميع التكوينات السابقة تفضل العين تفاوتاً فى الشدة والمسطح يتبع التفاوت فى اللون ، بمعنى أنها تفضل أن تتغير مسطحات الألوان عكسياً مع التغير فى شدتها . وهذا يعنى ازدياد مسطحات الألوان كلما ازداد اللون الرمادى بها . هذه القاعدة تعمل فى الاتجاهين ، أى إنه كلما قل مسطح اللون فى التكوين العام زادت شدته . والخرسانة بلونها قليل الشدة تحتمل المسطحات الكبيرة ويكملها ألوان شديدة مركزة متجاورة أو متكاملة بمسطحات أقل . وفى هذه الحالة يحسن تفاوت اللونين الآخرين فى المسطح والشدة معتمداً على القاعدة السابقة فى العلاقة العكسية بين الشدة والمسطح . هذه المسطحات ذات الألوان المشبعة قد تكون فى البطنيات أو الفتحات كالأبواب والزجاج الملون أو بعض من مسطحات الحوائط .

وقد اعتمد لوكوربوزييه على تكوينات أخرى من الألوان النقية لتحسين التأثير العام لمجموعة مرسيليا السكنية . فاستعمل مع اللون الخرسانى الرمادى المائل إلى الحمرة المتغلب ألواناً أخرى على الحوائط الفاصلة بين البلكونات المتجاورة ، وهذه دهنها بألوان باستل قوية منيرة من الأحمر والأزرق والأصفر ، وهى الألوان الأساسية النقية مع اللون الرمادى الداكن القريب من الأسود ، وذلك لإعطاء التناقض اللازم مع الألوان النقية ومع اللون الخرسانى الرمادى المحايد . ومن المهم ملاحظة أن الألوان المضافة وضعت على حوائط متعامدة على الواجهة ليراها المشاهد خلال غشاء تمثله الواجهة الخارجية للمبنى (شكل ٤٨٤) .

ومن السهولة بمكان تغيير اللون الأساسى للخرسانة من الرمادى المخضر إلى أى لون مطلوب قليل الشدة باستعمال الأسمنتات البيضاء والصبغات الطبيعية الخام فى الخليط . وقد يلعب الركام دوراً هاماً وأساسياً فى اللون النهائى للسطح الخرسانى باستعمال الركام الصناعى أو الطبيعى الملون ككسر الطوب أو البلاط أو الجرانيت أو الرخام الملون أو الكوارتز أو الأحجار المتنوعة الألوان على أرضيات ملونة . والألوان الناتجة تكون ألواناً غنية لكونها نتيجة مزج جزئيات ألوان متعددة . ومن المهم ملاحظة

* هذه الألوان النقية مع الأسود والأبيض هى التى اقتصرت عليها لوحات مندريان والتى حددت فيها مجموعة دى ستيل احتمالات التكوينات المعمارية للألوان .

أن تكون النتيجة لوناً قليل الشدة ما دام يشغل مسطحاً كبيراً . وقد سبق في الفصل الثالث شرح طرق للكشف عن الركام بالطرق أو الكشط أو التسوية أو هبوب الرمل أو المسح بالفرشاة (شكل ٤٨٥) مع استعمال الإضافات المؤخرة الشك للسطح الخرساني . كما أن الطرق سيكسر بعض جزئيات الركام ، وبذلك يكشف عن ألوانها وقطاعها . والركام الصناعي يمكن أن يعطي ألواناً دائمة شديدة ، في حين أن ألوان الركام الطبيعي هادئة وأقل شدة .

ومن أوائل المعماريين الأمريكيين الذين درسوا واستعملوا الركام الملون في الخرسانة المهندس جون إيرلي (John Earley) ، ومن بين ما قام به من أعمال تصميمه للنحت المعماري في كنيسة القلب المقدس (Sacred Heart) بواشنجطن وفيها استعمل الركام كمصدر رئيسي اللون . وقد قال عن هذا الاستعمال :

« بالنظر لجزئيات الركام كنقط ألوان مرتبة الواحدة بجوار الأخرى فإنه من الممكن تحقيق كل ما توصل إليه التأثيريون أو أصحاب طريقة الرسم بالنقط بالخرسانة . . . أما الألوان التي لا يوجد لها ركام بعد ، مثل القرمزي والأزرق المخضر والأصفر الأحمر ، فيمكن عملها بنجاح من الألوان البسيطة مثل الأزرق والأخضر والأصفر يمزجها بطرق متفاوتة لإنتاج تكوينات ذات ألوان مركبة رائعة الجمال يمكن إضافتها لمجموعة الألوان الأساسية الآتية : الأزرق ، الأزرق المخضر ، الأخضر المصفر والأصفر »[٤٠] .

ولارتفاع تكاليف الركام الملون يمكن قصر استعمالها على الطبقة الخارجية للوحدات الخرسانية وذلك بطريقة نقل الركام (Aggregate Transfer Method) (شكل ٤٨٦) . ومع أن هذه الطريقة تتطلب عمالا مهرة إلا أنها تفتح مجالا غير محدود للتأثيرات المختلفة بألوان الركام حسب رغبة وتصميم المهندس . وهنا يتحول السطح الخرساني إلى سطح من الموزايكو ، ويتفتح أمام المعماري مجالات لخلق السطح الفني الجميل من لون غني بالاهتزازات والتموجات والتدرجات مكون من نقط من ألوان مختلفة مركبة بعناية الفنان . وقد يتكون السطح من مساحات من الألوان المنسجمة على أشكال هندسية أو في ترتيب تعبيري فني . وبهذه الإمكانية يتحول السطح الخرساني الإنشائي إلى مجال لطاقة جمالية ويتحد الإنشاء والجمال في عمل فني متكامل .

الملمس (Texture)

الملمس خاصية أخرى للسطح تؤثر تأثيراً مباشراً في طاقته الجمالية ، وقد استعمل القدماء الزخارف بأنواعها وأحجامها وأشكالها المختلفة للوصول إلى تصميمات بالظل والنور تعطي غنى للسطح المعماري . وفي العمارة المعاصرة ، مع الاتجاه إلى حذف كل ما هو غير أساسي في المبنى ، ازدادت أهمية الملمس الطبيعي

بأنواعه وأشكاله المختلفة كمصدر هام من مصادر الطاقة الجمالية للسطح المعمارى . والخرسانة — كمادة إنشائية بلاستيكية — تمتاز عن المواد الأخرى بإمكانياتها الواسعة فى خلق أسطح أصيلة ذات غنى فنى من ناحية الظل والنور لكى تناسب كافة التكوينات والتعبيرات المعمارية .

فالأسطح الخرسانية الناعمة ممكنة باستعمال الورق المدهون بالزيت أو الصاج كسطح داخلى للشدة . غير أن الأسطح الناعمة غالباً ما تتشقق وتظهر عليها شدوخ نتيجة عدم تساوى الانكماش بين السطح الخارجى والقلب الداخلى . مثل هذه الشدوخ يمكن توجيهها ، إذا لم يمكن تلافيها ، بتقسيم السطح الخرسانى إلى بانوهات حيث تعمل وصلاتها كخطوط طبيعية للانكماش وكمسار محدد للشدوخ (شكل ٤٨٧) .

وللشدات بأنواعها المختلفة دور كبير فى إنتاج الملمس الخرسانى ، فالملمس الخشن يمكن الحصول عليه باستعمال ألواح خشبية غير مصقولة . كما يمكن الوصول إلى توزيعات فى انطباعات الشدات على الخرسانة بتنويع ترتيباتها وملمسها (شكل ٤٨٨) . وقد أظهر أوجست بيريه اهتماماً بمعالجة السطح الخرسانى فى أغلب مبانيه . وهذه الإمكانيات الجمالية تظهر بوضوح فى أقبية كنيسة نوتردام دى رانسى بباريس وكنيسة سانت تيريز بمونمانى (شكل ٤٨٩) . فبينما يرتب الألواح محاذية للعقود فى الأولى نجده يرتبها فى الاتجاه الطولى بالنسبة للقبو بالكنيسة الثانية . وقد بذلت عناية كبيرة فى اختيار الألواح من أطوال وعروض واحدة ورتبت اللحامات على خطوط مستقيمة واحدة . وفى أمثلة حديثة نُسقت الشدات على شكل « رقعة الشطرنج » فى مبنى محطة القوى فى سد نورس (Norris) بمشروع وادى نهر التنسى (T.V.A.) بأمريكا (شكل ٤٩٠) ، وفى مشروعات لوكوربوزييه الأخيرة فى مجموعتى مارسيليا ونانت السكنيتين (شكل ٤٩١) ، وفى المحكمة العليا بشانديجار بالهند (شكل ٤٩٢) (٥) .

وعملية كشف الركام تفتح أوسع الاحتمالات أمام الملمس الخرسانى ، فبجانب دور هذه الطريقة فى اللون فإنها تلعب دوراً كبيراً فى الملمس . فالسطح الخرسانى الرمادى المخضر الخامل يتحول إلى سطح غنى خشن الملمس . وهنا يلعب اختيار الركام وتوزيعه دوراً كبيراً فى اللون والملمس ، ونرجع هنا ثانية إلى طريقة جون أيرلى السابقة فى كنيسة القلب المقدس بواشنطن حيث نجد الركام وقد تحكم فى السطح النهائى من ناحية الملمس واللون . وهذه التشكيلات ظهرت على رؤوس الأعمدة وفى شرائط حول المذبح وعديد من العقود الداخلية . وقد شرح جون أيرلى اتجاهه قائلا :

« لقد صممنا أسطحاً تناسب أدق الطلبات وأكبر تفاوت فى المقياس ، أسطحاً تفقد ملمسها

وتتحول إلى لون متجانس على بعد خمس وعشرين قدماً ، وأسطحاً تحتفظ بملمسها على بعد خمسمائة قدم . ولهذا الغرض استعملت أنواع من الركام تقل مقاساتها عن ربع بوصة وتكبر إلى أن تصل إلى أكثر من بوصة ونصف بوصة »(٦) .

مثل هذه الإمكانيات فى السطح من البساطة التامة إلى التعقيد المقصود التفت إليها واهتم بها المصممون والكتاب الأوائل وفى مقدمتهم أوجست بيريه. وقد نفذ، بعد تجارب عديدة بأنواع مختلفة من الركام والطرق ، حوائط وأعمدة متحف الأثاث القومى ومتحف الأشغال العامة سنة١٩٣٨ من الخرسانة المكشوفة الركام . وقد بذل مجهودات كبيرة فى توزيع أحجام وألوان الركام المستعمل (شكلى ٥٥، ٥٦)

من الغريب وقد رأينا اهتماماً من الأوائل بهذا الاتجاه أن نجد إهمالا ما زال متفشياً فى العمارة الدولية والمحلية فى استغلال هذه الإمكانيات . فما زالت عمارة الخرسانة المسلحة فى الشرق الأوسط تسير خلف المراحل الأولى من الطراز الدولى فى استعمال أنواع مختلفة من القشرات التى تخلو من أى إبداع أو خيال ، كما تفقد خاصية جمالية منبعثة من أصل وطبيعة المادة . والأمثلة العالمية غير معدومة فى السنين الأخيرة لاستعمال الركام المكشوف ، بما يبشر برجوع الاهتمام . ففى المقر الشتوى لفرانك لويد رايت فى تالياسن الغرب (Taliesin West) استعملت قطع مختلفة الأحجام من الحجارة على السطح وصبت الخرسانة حولها (شكل ٤٩٤) . والسطح الناتج غنى بتكوينات الملمس والظلال واللون . كما اشتملت كنيسة الصليب المقدس فى سيدونا بأريزونا والذى صممها المعماريان آشن وآلن على معالجة خرسانية للسطح أساسية فى التأثير المعمارى (شكل ٤٩٥) . وقد بذلت عناية كبيرة فى اختيار ملمس الركام المتفاوت الحجم فى الداخل والخارج ، كما عرضت الأسطح لضغط الرمال لكشف الركام على السطحين الداخلى والخارجى . وقد استعمل المهندس سارينن نفس المعالجة فى تصميمه لكليتى صامويل موريس وإزرا ستايلز (Samuel Morse & Ezra Stiles) فى جامعة ييل وذلك لزيادة تجانسهما مع المبانى المحيطة . وقد أزيل السطح الخارجى للمونة بالغسيل تحت الضغط تاركاً كسر الحجارة مكشوفة للخارج . وقد تتعرض الأسطح ذات الركام المنتقى للنحت فى خطوط رأسية أو أفقية بحيث يترك النحت سطحاً به قنوات للداخل أو الخارج وذلك لغرض الوصول إلى سطح عالى الخشونة يتتابع فيه الظل والنور فى خطوط مستقيمة .

هذا وقد أصبحت البانوهات الخرسانية الجاهزة للواجهات متوافرة فى الأسواق الأوربية والأمريكية بتنوعات واسعة من ناحية الملمس . وأغلبها يستعمل الركام المكشوف بأنواع متباينة من الأحجار

والرخام . ورغبة فى زيادة غنى السطح المعمارى الناتج اتجه التفكير إلى أن التصرف الزخرفى بالقالب المستعمل فى صب البلاطات يعطى وحدة زخرفية يمكن تكرارها إلى عدد غير محدود ، وتكون النتيجة سطحاً على درجـات متفاوتة من غنى الملمس وتنوعه ، وذلك بتكاليف لا تزيد كثيراً على تكاليف السطح الأملس العادى ، وخاصة بالنسبة للمسطحات الخرسانية الكبيرة.

وقد رأينا من قبل التكوينات الزخرفية الخرسانية البارزة منتشرة على الشاطئ الغربى للولايات المتحدة حيث كانت طريقاً لإحياء الطرز المحلية الاسبانية والسابقة للعصر الكولومبى . والزخارف البارزة صبت فى نفس الوقت مع الحوائط والأسقف والكمرات والأسوار والأبواب وإطارات الشبابيك . والأمثلة من مسرح المايان بلوس إنجليس (شكل ٣٧) هى مبالغات فى معالجات الحوائط الخرسانية فى ذلك العصر .

هذه البلوكات الخرسانية الجاهزة اهتم باستعمالها كسطح خارجى على نسق زخرفى متكرر وبتنوعات عديدة المهندس فرانك لويد رايت وأولاده ، وذلك فى كثير من مبانيهم . وقد كانت مصدراً غنياً للملمس فى داخل وخارج تلك المبانى (شكل ٤٩٦) . وقد استغلها رايت كشدات دائمة للقلب الخرسانى فى منزل أقامه لمسز أليس ميلارد (Alice Millard) فى باسادينا بكاليفورنيا عام ١٩٢٢ مستعملا وحدة هندسية أقرب إلى زخارف النسيج (شكل ٤٩٧) . وفى عام ١٩٢٣ بنى رايت منزلين على نفس النمط فى لوس انجليس أحدهما للدكتور ستورر (Storer) والآخر لمستر شارلز إينس (Charles Innes) (شكل ٤٩٨). ومن مبانيه السكنية المشهورة فى هذا الاتجاه منزل فريمان (Freeman) (شكل ٤٩٩) بلوس أنجليس ، وفيه أحيطت البلوكات الزخرفية بأخرى ملساء . هذه الأخيرة كونت سطحاً خلفياً وحد الشكل العام . وقد كرر رايت استعمال البلوكات الزخرفية الخرسانية طوال حياته كما اهتم بها ثلاثة من أبنائه .

مثل هذا الاستعمال لبلاطات جاهزة ذات انطباع زخرفى معين أصبح الآن شائعاً فى كل من أوربا وأمريكا . ففى إنجلترا مثلا نجد أن المهندس بيركن هاوارد (Birkin Haward) عضو شركة جونز وسلابر وهاوارد (Johns, Slaber, Haward) من إبسوتش (Ipswich) قد طور هذه الوحدات أكثر من أى مهندس آخر[7] . وكان غرضه هو الوصول إلى طريقة رخيصة لإعطاء الأسطح تنوعاً وتغييراً على مقياس أوسع من طريقة الركام المكشوف ، وقد طور هاوارد بلاطاته من نماذج من الجبس . ثم ظهرت استعمالاته لها فى مدرسة كاسل هل (Castle Hill) فى إبسوتش (شكل ٥٠٠) وفيها استعمل وحدات متكررة على شكل معينات غاطسة كونت بعد تعرضها للجو ملمساً محدداً من

النور والظل حتى فى الأيام القاتمة . هذه الوحدات ذات انطباعات بسيطة متداخلة متكررة متكاملة مثل الزخارف الشائعة فى النسيج وأوراق الحائط . واستمر هاوارد فى استعمال المسدسات — والمسدس له ميزة سهولة تكراره — فى المدرسة الثانوية فى ابسوتش (شكل ٥٠١) . وقد تطور هذا الاتجاه فى أوربا وأمريكا ليصل إلى مرحلة الإنتاج الجاهز تحت الطلب . ففى إنجلترا نجد أن فى الإمكان شراء بلوكات زخرفية جاهزة ، منها بلوكات يعرضها أحد المصانع بمقاسات ثابتة ١٨ بوصة طولا و ٩ بوصات عرضاً و ٤ بوصات عمقاً بخمسة تصميمات زخرفية مختلفة . وفى أمريكا نجد أن حوائط مصمتة ذات ملمس زخرفى يمكن بناؤها من بلوكات خرسانية عادية جاهزة تحت الطلب بمقاسات ثابتة ٨ بوصات ارتفاعاً وعمقاً و ١٦ بوصة طولا مع استعمال بلوكات أخرى تبرز عن السطح العام للحائط الخرسانى العادى من بوصة إلى ٤ بوصات . ويتجه مجال هذا التكوين الاقتصادى إلى استعمال البلوكات الخرسانية المفرغة بين البلوكات المصمتة ، وذلك لإنتاج قواطيع للحدائق والأسوار (شكل ٥٠٢) .

* * *

« اختفاء المادة ممتع للعين كوجودها . وفى الحقيقة فإن العلاقة الرقيقة بين الجزء المصمت أمام الفراغ المفتوح هى من أبرز خصائص العمارة الحديثة » [٨] .

والبلوكات الخرسانية الزخرفية قد تكون مفتوحة فى جميع أو بعض أجزائها بحيث تترك وحدات خطية ترسم مع الفراغات أشكالا زخرفية متنوعة . هذه الفرغات قد تملأ بالزجاج لتكون فتحات ثابتة للإضاءة الزخرفية . وقد رفع بيريه من شأن هذا الاستعمال فى الوحدات المكونة لحوائط كنيستيه نوتردام دى رانسى بباريس (شكل ٥٠٣) وسانت تيريز بمونمانى ، وفيهما استعمل المخرمات الخرسانية للحوائط الجانبية والخلفية غير الحاملة . وهذه تكونت من مخرمات على أشكال مربعة ومثلثة ومعينة وصلبان ودوائر . وقد استعملت نفس هذه الوحدات فى الأسوار والعقود والجمالونات وبانوهات البرج ، وملئت مئات الفراغات بين الأعصاب الخرسانية بالزجاج الملون .

« ألوان الزجاج بجوار المدخل عامة من اللون الأصفر ، وكلما قربت الفتحات من المذبح ازدادت الألوان عمقاً إلى البرتقالى والأحمر والبنفسجى منتهية بالأزرق للفتحات حول المذبح . هذا الأزرق المطعم بالأحمر والبنفسجى المتناثر له عمق سماء الليل الصافية . هذه المجموعة مع التكوين الكبير لصليب خلف المذبح مباشرة تكون ستاراً خلفياً وقوراً لأقدس جزء فى الكنيسة » [٩] .

والنتيجة حوائط خفيفة غير إنشائية . . وهنا استعملت إمكانيات المادة للتعبير عن طبيعة الحوائط غير الفعالة .

وفى هذا الاستعمال توجد احتمالات تكرار وحدة أو عدة وحدات على المسطح بأكمله كما هو الحال فى كنائس بيريه ، أو أن تكمل الوحدات فيما بينها تصميما عامًّا للفتحة بأكملها . وفى الحالة الأخيرة يتجه التصميم اتجاهات فنية حرة . ومن الاستعمالات الهامة فى هذا المجال النوافذ الخرسانية لكنيسة باكارا (Baccarat) بفرنسا للمهندس نيكولاس كازيز (Nicolas Kaziz) ، وفيها جمع التصميم بين استعمال انطباعات الشدات على الأعمدة مع الانطباعات الهندسية على بلوكات الحوائط السابقة الصب مع استعمال النوافذ الزجاجية الخرسانية الزخرفية . كما احتوت كنيسة جان دارك فى بلفورت (Belfort) بفرنسا على مجموعات لاحتمالات الملمس الخرسانى حيث استعملت بلاطات عليها انطباعات الشدات ، وبلاطات ذات ملمس خشن بالركام المكشوف مع بانوهات الحائط الداخلية المستوية المقسمة بواسطة وصلات منتظمة متناقضة مع الأشكال الديناميكية الحرة للنوافذ الخرسانية الزجاجية . وقد صمم الكنيسة كبير المعماريين بالحكومة الفرنسية موريس لودز (Maurice Lods) بالتعاون مع الفنان جان لوك بيرو (Jean luc Perrot) (شكل ٥٠٤) .

والمخرمات الخرسانية قد تستعمل كتشابيك حاجزة للشمس أمام الفتحات الزجاجية للمبانى أو كحواجز زخرفية مفتوحة فى أسوار التراسات والحدائق . هذه المخرمات تطور حديث مباشر من المشربيات الإسلامية التى انتقلت إلى إسبانيا ومنها إلى أوربا وأمريكا بعد تبسيطها إلى أبسط أشكالها المتكررة (شكل ٥٠٥) . واستعمال مثل هذه المخرمات على أنواع وأشكال مختلفة أصبح شائعًا فى بقاع مختلفة من العالم ، وخاصة بعد أن استعملها المهندسون الإنجليز أمثال فراى ودرو دريك ولازدن (Fry, Drew Drake & Lasden) فى مبانيهما بدول الكومنولث بأفريقيا . وقد اختيرت لهذا الغرض وحدات زخرفية أفريقية لتتناسب مع اللغة المعمارية المحلية . وهذا واضح فى مبنى المكتبة بجامعة أبادا (Abada) بنيجيريا (شكل ٥٠٦) . كما استعملت المخرمات بوحدات زخرفية فى أسوار المدرسة الثانوية الأولاد أوبوكووير (Opuku Ware) فى كومازى (Kumasi) بغانا (شكل ٥٠٧) ، وفى أسوار مساكن الطلبة فى مدرسة مفانتسيبم (Mfantsipim) بمدينة كيب كوست (Cape Coast) بغانا (شكل ٥٠٨) . وفى الجمهورية العربية المتحدة استعمل المؤلف منذ عام ١٩٥٨ تشابيك مسلحة من ركام من كسر الحجر ومونة الأسمنت الأبيض فى تكوينات هندسية وزخرفية متكررة وذلك لحماية الفتحات والحوائط من

أشعة الشمس وكسطح عالى الخشونة داخل كادر علوى وسفلى مصمت هو امتداد لأرضية وأسقف بعض المبانى العامة (شكل ٥٠٩) والخاصة (شكلى ٥١٠ ، ٥١١) فى القاهرة . وفى أمريكا الوسطى واللاتينية ظهرت أمثلة ناجحة لهذه المخرمات ، ومنها الحواجز الخارجية فى منزل سال وكامبوس (M. de Salles & R. de Campos) بريو دى جانيرو ، وهى تمتاز بالبساطة فى التنفيذ مع الطرافة فى الملمس الناتج (شكل ٥١٢) . كما استعملت الحواجز المفتوحة وكاسرات الشمس من الأرضية إلى الأسقف ببراعة فى عمارات باركى كوينتا (Parque Quinta) بريودى جانيرو (شكل ٥١٣) .

وفى أمريكا يصمم المهندس المعمارى الشهير إدوارد ستون (Edward Stone) واجهات مكسوة بأكملها بالتشابيك . وكان أبرز استعمالاته لها فى سفارة أمريكا بنيودلهى وعلى واجهة منزله بنيويورك وعلى واجهة المكتبة الرئيسية بمدينة بالو ألتو (Palo Alto) بكاليفورنيا (شكل ٥١٤) . وهو يستعمل الخرسانة وكسر الرخام فى صب هذه الوحدات التى اكتسب فيها حساسية فى الاستعمال ، مما أعطى مبانيه طابعاً خاصاً وملمساً على درجة عالية من الغنى فى الظل والنور .

وفى غاية الأهمية أن نلاحظ هنا الأسس العامة للتصميم بالملمس . وهى لا تختلف من حيث جوهرها عن الأسس العامة للتصميم بالألوان ، فمن الواجب ألا تزيد درجات الملمس ومكوناته فى مبنى واحد على مثل لكل درجة باعتبار تقسيمها إلى أسطح ناعمة وخشنة وعالية الخشونة ، كما يجب ألا يزيد المجموع على ثلاث درجات . ومن المفروض أن تتفاوت مسطحات الدرجات المختلفة الملمس فى حالة تعددها ، الأمر الذى لم يحدث فى مدرسة كاسل- هل (شكل ٥٠٠) ، وكان سبباً فى عدم نجاح التكوين العام للملمس . وهذا يعنى أنه إذا كان الملمس المتغلب ناعماً كسطح خرسانى أملس فمن الواجب أن يكون المسطح التالى أصغر فى السطح وأكثر خشونة مثل البلاطات العارية الركام . وإذا وجد سطح ثالث فمن الواجب أن يكون أقلها مسطحاً وأكثرها خشونة كبلاطات النحت البارز أو المخرمات الخرسانية بأنواعها . ومن الأمثلة الناجحة فى مجال التصميم بالملمس سفارة الولايات المتحدة بنيودلهى (شكل ٥١٥) ، وفيها سطح عالى الخشونة متغلب فى المساحة وفى الحوائط المكسوة بكاملها بالتشابيك يتناقض مع سطح متوسط الخشونة وأقل فى المساحة فى السقف البارز عن الحوائط وملمس ثالث فى وحدات خطية على درجة عالية من النعومة والبريق فى الأعمدة الخارجية النحاسية . وعلى المعمارى أن يلاحظ هذه القواعد الهامة بأن يتلافى مثلا استعمال سطحين عاليى الخشونة مختلفى

الوحدة ، كأن يستعمل أسلحة كاسرة للشمس رأسية أو أفقية مع تشابيك زخرفية * أو يستعمل نوعين مختلفين من التشابيك على واجهة واحدة ، حتى لا تكون النتيجة فوضى فى الملمس تعطل إلى حد بعيد المتعة الجمالية الناتجة .

الشكل الجمالى
(Aesthetic Form)

الشكل الجمالى هو طريقة تجميع المكونات المادية للجسم الفنى من أسطح مستقلة أفقية أو رأسية أو مائلة أو منحنية مكونة لكتل مغلقة للفراغات . واللون والملمس ، بجانب كونهما عناصر للمتعة الفنية فإنهما يحددان الأسطح المغلقة للشكل العام .

والخرسانة المسلحة كما رأينا هيأت الإمكانيات لخلق أشكال معمارية ذات أسطح خارجية حاملة . هذه الأشكال بلاستيكية تحل فيها المنحنيات المستمرة محل الخطوط المتعامدة الحادة . كما تحل التكوينات المفردة والمزدوجة الانحناء المستمرة ذات الكفاءة الإنشائية العالية محل التكوينات المعمارية التكعيبيه التى خلقتها طبيعة الإنشاء بالأحجار والأخشاب والحديد والصلب .

والخرسانة المسلحة كمادة جديدة فريدة من نوعها تعتبر منبعاً لا ينضب للتكوينات المعمارية المتجددة . هذه التكوينات تخلق مشكلات جديدة للمعمارى عليه أن يجابهها إذا ما أراد أن يحقق عمله التأثير الفنى المطلوب .

والمعماريون فى محاولاتهم لإنتاج مبان ناجحة فنياً كان هدفهم دائماً الجديد فى التكوين . وقد أتاحت الخرسانة للرومان كنزاً لا ينضب من التكوينات الجديدة . وقد كان الهدف إلى التجديد فى الشكل ليتناسب مع الجديد فى الانتفاع هو الذى دفع معماريي القرنين التاسع عشر والعشرين إلى محاولات الجمع بين الطرز القديمة متوهمين أن فى هذا تجديداً فى الشكل عن طريق الجمع بين المظاهر الشكلية لعصور مختلفة فى مبنى واحد . هذه المحاولات للتجديد لم تتجه وجهتها السليمة إلا بعد ازدياد الخبرة بمواد الإنشاء المستحدثة ومنها الخرسانة المسلحة . هذا السعى المستمر نحو الابتكار هو الذى يبعث الحياة فى الفن والعمارة ويبقيها حية متجددة ، ويموت بموته العمل الفنى ليحل محله التقليد والاقتباس وأحياء الطرز القديمة . وقد فتحت الخرسانة المسلحة للفن المعمارى مجالا للتشكيل والتكوين لم يعهده من قبل ، وأصبح الميدان مفتوحاً لكل معمارى ذى خيال يعمل على أسس سليمة من الإنشاء والمنفعة .

* من أمثلة هذا الاستعمال مبنى وزارة الصناعة بالقاهرة .

والجديد فى الشكل ، وبخاصة إذا كان غير مألوف بتاتاً ، يقابله فى البداية دائماً مشكلات التعرف عليه (شكلى ٥١٦ ، ٥١٧) ، والتعرف مبنى على السوابق والعرف والتجربة . والجمهور قد طال تعوده على الحوائط الرأسية والأسقف الأفقية أو المائلة . أما الحوائط الأسطوانية ، فهى للخزانات واستعمالها لكنيسة فى جامعة ماساشوستس للتكنولوجيا فى كامبردج يسبب حيرة للمشاهد . ورغم أن القيمة الفنية للتعرف محل خلاف بين التعبيريين والمجددين من أصحاب مبدأ خلق الفراغ الشامل (Universal Space) * ، إلا أننا على ثقة بأن مشكلة التعرف على الأشكال الجديدة ستزول مع الاستعمال والتجربة المستمرة .

ومن المهم للمشاهد لكى يتمتع بالكتلة الفنية أن يتمكن من إدراك شكلها وأبعادها ومقاييسها داخلياً وخارجياً . مثل هذا الإدراك قد يأتى عن طريق اللمس أو البصر . وفى العمارة يكون الإدراك بصرياً أكثر منه عن طريق اللمس . والإدراك البصرى أقل شدة وأكثر تعقيداً وعمقاً ، إلا أن للعين طرقها فى مثل هذا الإدراك الذى يتم على مستوى اللاشعور . وعلى المعمارى أن يدرك هذه الطرق وأن يستخدمها لكى يضمن لأشكاله وفراغاته التأثير المطلوب . وسنناقش هنا مشكلات التكوينات الفراغية البلاستيكية على اعتبار أن انتشار استعمالها قد لازم استعمال الخرسانة فى العمارة الرومانية والخرسانة المسلحة فى العمارة المعاصرة .

التكوينات البلاستيكية المستمرة قد فتحت المجال لدخول أشكال هندسية دورانية بسيطة للمجال المعمارى ، وقد طال استعمال المكعب ومتوازى المستطيلات والهرم كأشكال هندسية مستقيمة الأضلاع مكونة من مستويات متقاطعة ، كما تميزت بها الأشكال المعمارية المعاصرة بالخشب والصلب . وبتطوير الخرسانة المسلحة تحققت اتجاهات إلى الأشكال البلاستيكية الأساسية كالكره أو أجزاء منها والأسطوانة الرأسية أو الأفقية ومجموعات منها والمخروط . وجميع هذه الأشكال قوية ذات جاذبية عالية للعين مألوفة للنفس ، وهى إذا استعملت مفردة تعطى شكلا موحداً قوياً مريحاً للعين لمرورها عليه براحة وبساطة وهدوء . وهى إذا استعملت مع أشكال تكعيبية تطغى عليها بصرياً ، وتكون عنصراً مسيطراً يضم المجموعة المعمارية فى وحدة متكاملة إذا ما كان لها من الحجم والوضع ما يؤكد لها هذه السيطرة .

---

* يتجه ميزفان ديروه إلى خلق الفراغ الشامل دون التقيد باستعمال معين لهذا الفراغ متيحاً الفرصة للتغييرات المحتملة المستقبلة فى هذا الاستعمال .

قد تستعمل هذه التكوينات والأشكال البلاستيكية وتكون النتيجة فشلا فنياً ناتجاً عن طبيعة هذه الأشكال ذاتها . وهنا تبرز أهمية الإدراك البصري للشكل فى الفراغ . فقد نشاهد شكلا كروياً فى الفراغ ولا ندرك حقيقته تحت الضوء لعدم وجود وحدات فى الشكل تساعد بصرياً على عملية الإدراك . من وظيفة هذه الوحدات توليد الظلال والنور اللازمين لإدراك الشكل . وفى التكوينات التكعيبية تتوافر هذه الوحدات بتقاطع المستويات بزوايا مختلفة وبروزات السقف على الحوائط وبالفتحات والأعمدة . هذه الوحدات بجانب توليدها لمسطحات مظلمة ومنيرة ، تكون بترتيباتها وتتابعها عناصر للمنظور هامة للإدراك المجسم . فالأعمدة حول المعبد الإغريقى ، وصفوف العقود حول فناء إسلامى وخلفها الحائط المرتد مستقبلا ظلال الأسقف والعقود المتقدمة ، جميعها تكون وحدات إدراك بصرى للتكوين التكعيبى العام . وفى الأشكال البلاستيكية تحذف خواص الاستمرار الشكلى والبساطة وانسياب السطح كل أو أغلب هذه الوسائل وتصبح عملية إدراك الشكل صعبة من الداخل والخارج . ومع أن وحدة الشكل موفورة فإنها وحدة ذات طابع خال من الإيقاع ، أو التنويع ، أو الظل والنور ، أو التجسيم .

والحل المنطقى لزيادة الإدراك البصرى للشكل البلاستيكى هو خلق رواسم على السطح المنحنى يسهل بواسطتها معرفته ومعرفة حدوده وأبعاده . وقد تتكون هذه الرواسم نتيجة لتلاقى الحوائط الرأسية الزجاجية غير الحاملة مع الصدفة المنحنية المقفلة . وبتكرار هذه المستويات حول القبة يتكون إيقاع ناجح من عقود منتهية بأعصاب تلقى ظلالها التى تساعد على زيادة تأكيد الشكل المنحنى (شكل ٥١٨) . ومن الأمثلة الناجحة صالة مطعم لوس مانا نتيالس (Los Manantiales) بمكسيكو (شكل ٥١٩) حيث تقاطع حائط زجاجى مع السقف القشرى المتموج . وقد تكون المستويات القاطعة حوائط صماء كما فى صالة فرنتون ريكوليتوس (شكل ١٩٢) ، وفيها تقاطع سقفان أسطوانيان مع المستوى الرأسى للحوائط الجانبية فازداد السقف بذلك تحديداً وتوضيحاً .

وفى مستوى الشكل المنحنى داخلياً وخارجياً استعمل القدماء خطوط الأعصاب بأشكالها المختلفة لتحديد الشكل وتأكيده . فبدون الحشوات الموجودة داخل قبة البانثيون ، بإيقاعها المنتظم على محيط القاعدة والمتناقص نحو قمة القبة ، لما أصبح تأثيرها بالقوة التى هى عليه الآن . وبدون الأعصاب عند تقاطع قبوات الكنائس الرومانسكية والقوطية والأعصاب الحاملة لقباب عصر النهضة والباروك فى كنائس سان لورنزو وسان بيتر وسان بول لما بلغ التأثير الداخلى أو الخارجى القوة التى بلغها . وفى الإنشاء الحديث كبرت البحور وازدادت الارتفاعات والأبعاد وازدادت الحاجة إلى الرواسم . هذه

الرواسم طبيعية ومتوافرة فى الإنشاء الخطى بالصلب أو الخرسانة حيث ترسم العقود الشكل المنحنى داخلياً أو خارجياً . ومن وجهة النظر هذه يحسن ظهور الرواسم من الجهتين لخدمة نفس الغرض داخلياً وخارجياً . وبالنسبة للإنشاء القشرى بالخرسانة يخلو السقف من الكمرات الراسمة إلا فى بعض الحالات التى توجد فيها أعصاب لحفظ الشكل العام وهياكل لحمل القبوات الأسطوانية القصيرة (شكلى ٥٢٠ ، ٥٢١) . هذه العقود إن وجدت تعمل كرواسم للسقف القشرى ، وإن لم توجد كما فى حالة الأسقف القشرية التى يوفر لها تعدد انحناءاتها الصلابة المطلوبة ، يجب على المعمارى أن يتجه اتجاهات أخرى تحل محل الرواسم لتأكيد الشكل .

الفتحات العرضية أو الطولية فى جسم الصدفة القشرية ، إذا أمكن تحقيقها إنشائياً ، تساعد على الوصول إلى الهدف السابق داخلياً أو خارجياً . فالفتحتان المستطيلتان الأسطوانيتان فى سقف صالة فرنتون ريكوليتوس بمدريد تؤديان دوراً هاماً فى الإدراك البصرى للسقف الأسطوانى وتمنعان الملل وتؤكدان الشكل (شكل ١٩٢) كما يظهر ذلك بوضوح فى التصميم الناجح للفتحة الأسطوانية التى تمتد فى مستوى سقف صالة ك . ب (K.B.) للتنس بكوبنهاجن (شكل ٥٢٢) ، وفى الفتحات المتكررة العرضية الراسمة للسقف الأسطوانى بصالة السوق المغطى فى مدينة ڤيڤيه (Vevey) بسويسرا (شكل ٥٢٣) . ومما لا شك فيه أن الفراغات الزجاجية بين العقود المتقاطعة فى صالة مطار سان لويس قد ساعدت على التأكيد الدراماتيكى لشكل السقف المنحنى (شكل ٥٢٤) .

والتموجات فى الأسقف القشرية بأشكالها المختلفة تخدم الغرض السابق بوجود عدة رواسم بالظل والنور عند كل وحدة متكررة . وقد خدمت هذه التموجات داخلياً وخارجياً السقف القشرى لقصر المركز القومى للصناعة والتكنولوجيا بباريس (C.I.N.T.) (شكلى ٥٢٥ ، ٥٢٦) كما يستغلها نيرڤى إنشائياً وبصرياً فى أغلب مبانيه ذات البحور الواسعة ومنها قصر الرياضة بروما (شكل ٥٢٧) .

ومن المهم أن نؤكد ضرورة توضيح الأشكال المنحنية ليلا عن طريق الإضاءة غير المباشرة المنعكسة عليها . فمن الخطأ الشائع استعمال المعلقات الكهربائية العادية المدلاة تحت السقف القشرى مما يحوله إلى مساحة مظلمة غير ملحوظة أو مستغلة ، فى حين أن المسطحات القشرية باستمرارها ونعومتها وأشكالها المنحنية يمكن أن تؤكد فنياً باستغلالها انتفاعياً كعواكس للإضاءة المسلطة عليها .

* * *

كثيراً ما ندخل إحدى حظائر الطائرات ذات البحر الواسع الذى قد يزيد عن مائة متر والامتداد

الطولى إلى مئات الأمتار ولا نتأثر بحجمها الكبير ، فى حين ندخل صالة متوسطة فى قصر أو محكمة أو جامع ونتأثر فى الحال بضخامة بحرها وطولها وارتفاع سقفها . السبب الواضح لهذا هو ما نسميه بتوافر وسائل التعرف على المقياس فى التصميم الثانى واختفائها فى الحالة الأولى . والمقياس صفة جمالية ذات تأثير كبير فى النجاح المعمارى، وهو التأثير البصرى للمقاييس المنقولة عن الأبعاد المادية الحقيقية . وفى العمارة يوجد المقياس نتيجة لتوفر وحدات انتفاعية منفردة ذات أبعاد مألوفة وذات علاقة بالمقاييس الإنشائية . وهنا توجد علاقات بين الأبعاد الكبرى وبين هذه الوحدات المعروفة المقياس تساعد المشاهد على التأثر السليم بهذه الأبعاد . هذه الوحدات كالأسوار والسلالم وجلسات الشبابيك توفر أبعادها مقياساً للكتلة أو الفراغ ووسيلة لخلق التأثير العام لحجم الفراغ الداخلى أو الكتلة الخارجية . والسعى للمقياس سعى متعمد مقصود قد يصل إلى درجة عالية من العمق والدراسة شاهدنا أمثلته فى عمارة الباروك ثم أهملته الفراغات فى العمارة الحديثة رغم حاجتها الشديدة إليه . ومن المنتظر أن يعود ثانية فيسترجع أهميته بالدراسات الحديثة للفراغات الداخلية والخارجية والمحاولات الجادة لإكسابها تلك الصفات التى جعلت من الفراغات الأولى مع تواضعها مصادر للتأثير فاقت ما لدينا الآن من إمكانيات إنشائية واسعة .

والمواد الإنشائية التقليدية تخدم كوسائل للتعرف على المقاييس . فحائط الطوب والحجر يحتوى على وحدات ذاتية للمقياس ، كذلك الحال بالنسبة للإنشاء الهيكلى المكشوف بالصلب والخرسانة حيث تتراوح الباكيات من ثلاثة إلى خمسة أمتار وارتفاعات الأدوار حوالى ثلاثة أمتار . أما الأشكال البلاستيكية ذات البحور الواسعة والأسطح الملساء وذات الأشكال الهندسية النقية ، فإنها تخلو كلية من وحدات إنشائية للمقياس . وهى للمشاهد بالصور أو على الطبيعة لغز محير من ناحية أطوالها وبحورها وارتفاعاتها . وغالباً ما يكون تأثيرها فى المشاهد أقل من الحقيقة — الأمر الذى قد يكتشفه بالبحث المتعمد المضنى على أساس المقارنة أو بالطواف حولها لاكتشاف مقاساتها — مما يضعف تأثيرها الجمالى المرغوب * .

ومن المناسب أن نبحث هنا فى طرق تلافى ذلك مستوحين ومتلمسين المبادئ الأساسية فى هذا المجال .

---

* قال المهندس أيرو سارينين مصمم مسرح معهد ماساشوستس للتكنولوجيا عن مبناه :

« لقد أثار المبنى قدراً كثيراً من المناقشات المؤيدة والمعارضة — وإنى أعتقد أن بعض الانتقادات لها ما يبررها . أنا أشعر الآن أن المبنى ليس له الشكل الذى يسمو بالمشاهد بالدرجة الكافية ، وأنه ربما ينقصه تعريف كاف بالمقياس »(١٠) .

للإدراك البصري للمقياس يجب أن توفر وحدات سهلة التعرف على أبعادها ، وهذه قد تكون وحدات مألوفة معروفة أو قريبة من عين المشاهد بحيث يسهل حدوث عملية المقارنة التلقائية السريعة ، ويتم التأثير المطلوب فى أقرب وأسرع سبله . وفى مجال توفير الوحدات المألوفة نجد أن السلالم الداخلية والخارجية من أيسر السبل لهذا الهدف ، وكذلك الأبواب ذات المقياس الانتفاعى المناسب ، كما يمكن استعمال الأرائك والتماثيل الخارجية ذات الحجم الطبيعى .

والسبيل الآخر والأسهل للتعرف على المقياس هو توفير وحدات صغيرة مألوفة فى الحوائط أو الأسقف أو الأرضيات قريبة من عين المشاهد وتكرارها أو تكرار مجموعات منها فى بقية العنصر المعمارى حتى يمكن المقارنة تلقائياً بين الكل والجزء . وقد استغلت هذه الطريقة فى أغلب الطرز القديمة بتكرار الحشوات فى الأسقف أو الباكيات فى واجهات المعابد الإغريقية والرومانية . فالأدوار والباكيات فى الحائط الأسطوانى الخارجى لمبنى الكلوسيوم بروما ، والباكيات المعقودة فى الكنائس القوطية والأفنية الأندلسية هى من أنجح الوسائل للتعرف على مقاييس الشكل العام أو الفراغات الداخلية . وقد وفرت طرق نيرفى فى إنشاء الأسقف الخرسانية من وحدات متكررة من جمالونات ، أو قطع مزدوجة الانحناء بفتحات فى جوانبها (صالة معرض تورينو شكل ١٠٦) ، أو من بانوهات مقعرة على أشكال معينات كما فى صالة الرقص بشنسيانو (شكل ٥٣٤) ، وسائل بصرية مباشرة للتعرف السليم على مقياس صالاته الواسعة .

والأسقف القشرية الملساء تخلو من فرص تكرار وحدات ثابتة الأبعاد ومن احتمالات تقسيمها بواسطة عراميس إلى بانوهات أو وحدات كما هو الشأن فى الحوائط الطوب . إلا أنه ما زال أمام المصمم بالأسقف القشرية فرص استغلال المسطحات غير الفعالة من الغشاء الخارجى . وهذه بطبيعتها تنفذ من مواد خفيفة مقسمة إلى بانوهات صغيرة الحجم متكررة ، وهذه قد تكون وحدات من الطوب أو بانوهات زجاجية . ومن الأخطاء التى يقع فيها المصمم لمثل هذه المسطحات الواسعة تكبير وحدات التقسيم عن المعتاد لتتناسب مع مقاييس المبنى الكبيرة . مثل هذه المعالجة يكون لها تأثير عكسى وهو تصغير التأثير العام للسقف القشرى عن حقيقته .

كما يمكن تأكيد المقياس الخارجى والداخلى بتسهيل المقارنة عن طريق التناقض مع كتل أو فراغات أصغر حجماً وأسهل إدراكاً لأبعادها . والمداخل أو المخارج أو المماشى أو أى ملحقات انتفاعية للفراغ الأكبر للمبنى قد تخدم فى هذا الاتجاه . ومن المهم مراعاة التفاوت فى الحجم بين البلوكات الملحقة والشكل الرئيسى البلاستيكى ، وذلك للمحافظة على وحدة المبنى مع الوصول إلى المقياس السليم . مثل

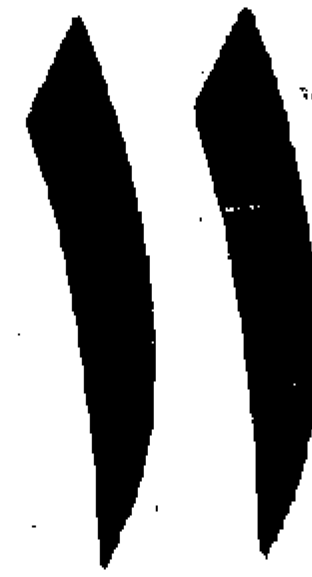
هذه الوحدة قد فُقدت فى مبنى المركز القومى للصناعة والتكنولوجيا بباريس (شكل ٥٢٦) ، حيث لم تخدم مجموعة المبانى التكعيبية المعقدة كبيرة الحجم التأثير العام للسقف القشرى فوقها ، بل أفسدت المقياس الحقيقى للصدفة كبيرة الحجم (بحرها ٦٧٦ قدماً وارتفاعها ١٥٢ قدماً) . ومن الداخل يساعد التقسيم الداخلى الأفقى والرأسى لجزء من الفراغ الكبير إلى فراغات أصغر إلى الوصول إلى الإحساس بالمقياس الكبير ، ويظهر ذلك واضحاً فى المعالجة الداخلية الجانبية لصالة السوق المغطى فى ڤيڤيه بسويسرا (شكل ٥٢٣) .

وقد هيأت الوحدات الإنشائية وانتظامها لباكيات متقاربة لكل مادة مقياساً ثابتاً للحكم على المقياس العام . كما أن التقسيم الإنشائى التقليدى إلى أعمدة وكمرات رئيسية أو هياكل وكمرات ثانوية يعطى مقياساً للمبنى نتيجة للتدرج التصاعدى والتناقص الحجمى من الكمرات الثانوية الصغيرة إلى الكمرات الرئيسية أو الهياكل الكبيرة العمق . وهذه بتكرارها تعطى فكرة واضحة عن المقياس العام . ووجود الأعمدة المتكررة على صفوف متتالية على جانبى البهو الرئيسى لكنيسة قوطية مثلا يؤكد المنظور الذى هو وسيلة العين للوصول للمقياس والأبعاد . مثل هذا الإنشاء الخطى التدرجى يحتفظ فى ذاته بوسائل كامنة للتعرف على مقياسه . أما الإنشاء البلاستيكى السطحى فلا يحمل هذه الميزة لطبيعته كسطح واحد مستمر لا يشمل وحدات قد يكون بينها مثل هذا التدرج أو التناقض . كما أن باكياته إن وجدت كما فى حالة الصدفات الطويلة المفردة الانحناء تكون باكيات غير تقليدية وغير مألوفة من ناحية مقاييسها ؛ إذ قد تصل عروضها إلى عشرة أمتار وبحورها إلى ستين متراً . هذا النقص فى إمكانية تأكيد الإنشاء ذاته للمقياس هو من المصاعب المعمارية بالأسطح المستمرة الفعالة وهى التى لا تعتمد على انتقال الأحمال للأرض عن طريق وحدات متدرجة فى المقياس . وستزداد المعرفة بالمقياس الجديد للإنشاءات البلاستيكية المستمرة بزيادة تجربة المشاهد بها ونمو الألفة بينهما . وعلى المعمارى أن يساعد على ذلك ما أمكن باستغلال باكيات الأعصاب أو الهياكل أو الأعمدة وتأكيدها وتوضيحها حتى تستعمل كمقياس لباقى أجزاء المنشأ .

وباختفاء الزخارف من المبانى اختفت طريقة طالما استعملت للوصول للمقياس نتيجة للمقارنة ونتيجة لتقسيم الحوائط والأسقف إلى أقسام وبانوهات مختلفة يسهل التعرف عليها . وقد نجحت هذه الطريقة ما دامت الزخارف فى حدود مقياس الإنسان كما فى جامع أيا صوفيا ، وفشلت فى كتدرائية سانت بيتر بروما بسبب أحجامها الضخمة الهائلة التى تتسبب بالتبعية فى صغر حجم جميع المقاسات

الأخرى بالمبنى . وفى هذا المجال تفتح الخرسانة احتمالات جديدة لتأكيد المقياس عن طريق إمكانياتها الواسعة فى الملمس الذى يحل محل الزخارف بالنسبة للتصميم المعمارى الحديث . فإظهار الركام بأنواعه ومقاساته المختلفة على السطح وكذلك إظهار انطباعات الشدات الخشبية بتكويناتها وأشكالها المختلفة السابق بحثها تجزئ ما كان سطحاً كبيراً ناعماً مستمراً إلى أجزاء سهلة الإدراك والفهم . ويصل المصمم إلى نفس النتيجة باستعمال البانوهات الزخرفية الخرسانية السابقة الصب كسطح خارجى للحوائط (أشكال من ٤٩٦ إلى ٥١٤) .

وبالوضوح البصرى للشكل الخرسانى خارجياً وداخلياً تحت الضوء مع توفير وسائل التعرف على مقاسه يكتمل تأثيره الجمالى ويصل للدرجة من السمو والعمق وصلتها أشكال معمارية ببحور تقليدية فى طرز سابقة . هذه الطرز أخذت طبيعة العين البشرية وبالتالى متعتها الجمالية ضمن العوامل الهامة المؤثرة فى التصميم المعمارى .



التعبير المعمارى بالخرسانة المسلحة

هناك فرق كبير بين مجرد تنسيق الوحدات المعمارية وبين التعبير الفنى المقصود والمصمم * والأخير هو الذى يميز العمل الفنى عن العرض الطبيعى .

وحيث إن الغرض الأساسى للعمارة هو غرض اجتماعى فإن تأكيد الدور الذى يلعبه المبنى فى المجتمع ، سواء أكان عامًّا أم خاصًّا ، هو من صميم عملية التصميم المعمارى الجمالى الذى يتجه فى نفس الوقت إلى زيادة الثروة الجمالية للمجتمع . ويعتبر النجاح فى التعبير عن ذلك بالمواد وطرق الإنشاء المعاصرة — ترجمة للإمكانيات الجمالية للعصر التى هى ملازمة لطبيعته ومقياسًا لتفوقه المعمارى .

وحيث إن الغلاف المادى هو الطريق لتحقيق الانتفاع الاجتماعى فإنه يتبع أن المعمارى بتأكيده لطبيعة هذا الغلاف وخواصه يكون قد عبر عن الغرض الاجتماعى . وعلى المعمارى أن يوضح ويؤكد من خواص المادة وطريقة صناعتها وتحملها ما يجده مناسبًا للوصول إلى التعبير المعمارى المطلوب . والتنوع الذى تتيحه الخرسانة تنتج عنه مظاهر متنوعة تعكس انطباعات المعمارى عن المادة بخواصها المختلفة لخلق فراغ اجتماعى معين .

والمادة الإنشائية باستعمالها السليم ، تفرض خواصها وطبيعتها العامة على سطحها الخارجى وعلى تشكيلاتها المختلفة . وهنا يلزم التأكيد المعمارى للخواص المميزة للمادة . كما أن توضيح طريقة الصناعة والمعالجة يتيح للمشاهد فرصة معرفتها والتمتع بها . أما طرق التجميع والإنشاء فهى التى تكون الشكل النهائى ، وهذه بالتالى يجب أن يؤكدها ويوضحها التصميم .

التعبير عن طبيعة المادة وانطباعاتها :

هناك نظريات تؤكد أن التماثيل الإغريقية الكلاسيكية كانت مدهونة ** ، وهناك دلائل على أن الأهرامات المصرية كانت مغطاة بالبياض . والقوة التى نحس بها الآن بالبلوكات الحجرية الضخمة المرصوصة الواحدة فوق الأخرى ، لم تظهر إلا بعد أن أزالت العوامل الجوية هذه القشرة على مرّ الزمن . ولم يكن الرومان على اهتمام بكشف خرسانتهم التى غطوها بالطوب والرخام . كما أن التعبير عن المادة لم يكن من أسس تصميماتهم . وفى عصر النهضة اتجه النحاتون

---

* أعطى ت . جرين (T. Green) التعريف التالى للتعبير « استخراج الخلاصة (Essence) بوعى وعن قصد » .

T. Green, The Arts & Art of Criticism, Princeton University Press, 1952, P. 258.

** نشر المعمارى الفرنسى هيتورف (J. Hittorf) عام ١٨٢٩ نظريته القائلة بأن الألوان كانت مستعملة بكثرة لتكسية المعابد الإغريقية . وقبل ذلك لاحظ ستوارت وريفت (Stuart & Revett) فى عام ١٧٥٠ بقايا ألوان على آثار إغريقية فى أثينا وكتبا عن ذلك فى كتابهما المشهور Stuart & Revett, "Antiquities of Athens" 1762.

إلى التماثيل الإغريقية للوحى والإلهام ، وهذه كانت قد فقدت طبقات الدهان وتكشف لهم جمالها الناتج عن كشف موادها الأصلية الطبيعية . وقد ساعد ذلك على اتجاههم نحو إظهار المواد على طبيعتها كوسيلة للوصول إلى الجمال . وفى الفن المعاصر أصبح الاتجاه إلى إظهار الطابع الخاص لكل مادة وتشكيلها بما يناسب هذا الطابع وتأكيد ذلك بشتى الطرق إلى المشاهد ، اتجاهاً جمالياً معترفاً به . ومن الفنانين الذين نجحوا فى هذا الاتجاه وركزوا عليه الفنان برانكوزى (Brancusi) فى تمثاله البرونزى « طائر فى الفراغ » ، وتمثاله الرخامى « السمكة » . وفى العمارة اهتم أصحاب الاتجاه العضوى وفى مقدمتهم فرانك لويد رايت باحترام الجانب الجمالى للمادة سواء أكانت طبيعية أم مُصنّعة يدوياً أو آلياً . وفى سلسلة من المقالات نشرت سنة ١٩٢٨ تحت عنوان (In the Cause of Architecture) قال رايت جملته المشهورة التى كان لها أكبر تأثير فى اتجاه معين فى العمارة مؤكداً بها مبدأً هاماً من مبادئ العمارة العضوية .

« كلّ مادة تتحدث لغة خاصة كما يتحدث الخط أو اللون أو ربما لأنها فعلا تتحدث . ولكلّ قصة خاصة ، والشعور للمادة كالروح للجسد . ومن صميم عمل الفنان أن يكشف هذه الروح وأن يسمح لها بالانطلاق والازدهار من خلال عمل فنى بحيوية وحياة لانهائية . فالحجارة لها شعور بالصلابة والتقصف ، فمن البازلت الشديد الصلابة إلى الحجر الرملى السهل التشكيل تتفاوت مشاعر وإحساسات دفينة . فالبازلت يخرج شكلا صلباً قاسياً ، والجرانيت له حبيبات أكثر خشونة ولون أقل تكاملا . والخشب أخف وأنعم وأكثر ترحيباً من الحجر » (١).

غير أنه أعلن فى نفس المقالات أن « الخرسانة من الناحية الجمالية ليس لها أغنية ولا قصة ، كما أنه ليس من السهل أن نرى فى هذا الخليط أى خاصية جمالية »(٢). ويستمر رايت ليؤكد أن الخرسانة خليط له خواص ذاتية قليلة ، حيث إنه لاكتسابها أى شكل أو ملمس أو لون يجب أن تمنح إياه صناعياً بخيال الإنسان . ومن ثم فهى واحدة من هذه المواد البدائية (Insensate Brute) التى تستعمل لتقليد غيرها ويجب أن تخضع للمعالجة « الفنية » لأى مزخرف داخلى . ويمضى رايت ليقول إنها كمادة كان من سوء حظها أن تستعمل ككمرات خشبية وفى زخارف مقعرة ككرانيش البياض وكبلاطات مستقلة فى الفراغ أو كمخرمات كالحواجز الفارسية السيراميكية ، أو أن تدفن ككتل فى باطن الأرض . إلى هنا وتشبيهات رايت متشائمة ومظلمة عن المادة . غير أنه يعود ويقول إن فى المادة فرصاً للعقل المبتكر . ثم يناقض ما ذكره من قبل فيقول إن هناك إغراءات لإنقاذ مثل هذه المادة الأمينة (Honest) من الانحطاط

لأن فى هذا الخليط مادة بلاستيكية لم تجد بعد الوسط التعبيرى الذى يسمح لها باتخاذ شكل بلاستيكى، واستعمالاتها ما زالت كما لو كانت حديداً أو ملاطـاً « بياضـاً » مصبوبـاً فى قوالب تتحكم فى أشكالها، ومن ثم فإن شكلها هو نتيجة لعملية الصب بدلا من أن يكون منبعثاً من طبيعتها . وقد عدد رايت حقائق واضحة تتعلق بطبيعة المادة ، وهى أنها مادة مصبوبة ، بلاستيكية ، تقبل الانطباعات كما تقبل الاستمرار والتماسك إلى حدود بعيدة* ، كما أنها تقبل المعالجات الكيماوية لإعطائها ألواناً ، أو إكسابها مناعة ضد تسرب المياه ، وهى مادة سهلة التشكيل فى أولى مراحلها سهلة الكسر فى شبابها عنيدة فى كبرها ، ضعيفة دائماً أمام إجهادات الشد .

هذه هى نظرة معمارى كان من أوائل من استعملوا الهيكل الخرسانى بنجاح عام ١٩١١ فى الفندق الإمبراطورى فى طوكيو ، ولكنه لم ير إلى حين كتابة هذه المقالات فى الاحتمالات الإنشائية للخرسانة المسلحة أى دور معمارى ، بل غطاها كما فعل ساليڤان من قبل بالإنشاء الحديدى بالطوب أو الحجارة أو التركوتا أو ببلوكات الخرسانة الجاهزة . قد يبرر ذلك طبيعة رايت كمعمارى حساس لوحى المواد الطبيعية والمعالجات السطحية . وقد أكد رايت أن فى الطبيعة البلاستيكية للخرسانة تكمن القيمة الجمالية للمادة، وقد أشار إلى أن هذه الخاصية هى التى تميز الخرسانة من الحجارة . غير أنه ركز على استغلال هذه الإمكانية فى تصميم أسطح زخرفية تظهر فيها الطبيعة البلاستيكية للخرسانة، مشيراً إلى أن استعمال البلوكات الخرسانية الجاهزة ذات الانطباعات البلاستيكية هى الحل المنطقى الوحيد للاستعمال المعمارى للخرسانة .

ومع تأكيدنا لأهمية هذه الخاصية البلاستيكية فى التعبير المعمارى بالخرسانة إلا أننا نرى أن هذه الخاصية تظهر بوضوح أقوى فى إمكانية الخرسانة المسلحة فى التشكيل فى أشكال إنشائية بلاستيكية . هنا تبتعد الخرسانة المسلحة حقيقة عن الابتذال الإنشائى فى استعمالها كما لو كانت حجراً أو حديداً أو خشباً ، كما تبتعد عن الابتذال الزخرفى فى استعمالها كما لو كانت « بياضا » مصبوبـاً فى قوالب أو حجراً منحوتـاً . هنا تتجسم الطبيعة الذاتية للخرسانة فى أنفع وأكفأ وأجمل صورها . وبجانب هذا الاتجاه الإنشائى البلاستيكى نجد أن هناك اتجاهات أخرى للتعبير المقصود المباشر أو للتعبير عن طريق المعالجات السطحية التى أشار بها وركز عليها فرانك لويد رايت فى مقالته السابقة . وهناك

* لم يحقق رايت هذه الإمكانيات بالخرسانة المسلحة إلا فى مشروعه لشركة جونسون واكس عام ١٩٣٥ وفى مبنى متحف جوجنهايم عام ١٩٥٨ .

خاصية أخرى أشار إليها رايت فى نهاية سرده للحقائق المميزة للخرسانة ، وهى صلابتها وقوتها فى الانضغاط وضعفها النسبى فى الشد مما يشجع على تأكيد هذه الطبيعة الإنشائية بالتشكيلات الإنشائية التى تعبر بأوضح الطرق عن هذه الخاصية .

أولا — الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة : الاتجاه الإنشائى

الخاصية البلاستيكية للمادة تشجع الفنان على تأكيد الانسيابية بين أجزاء العمل الفنى . والخرسانة المسلحة كمادة بلاستيكية تمتاز بأن الكفاية الإنشائية والتعبير الفنى عن المادة يسيران فيها جنباً إلى جنب . والتكوينات الأقرب إلى الإنشاء المثالى هى الأكثر تعبيراً . وفى المنشآت ذات الأسطح الفعالة المنحنية التى عرفناها فى الفصول السابقة يصبح التعبير البلاستيكى جزءاً من تكوينها ، وأى عرض أمين لها هو فى ذاته تعبير عن المادة . فالوحدات الإنشائية البحتة فى سقيفة مدرجات ملعب البيسبول بمدينة قرطاجنة بكولومبيا (شكل ٥٢٨) والسوق المغطاة فى بسكيا (Pescia) بإيطاليا (شكل ٥٢٩) ، وسقيفة مدخل نادى نوتيكو (Nautico) بهافانا بكوبا (شكل ٥٣٠) ، هى فى حد ذاتها تعبير فنى عن خاصية اللدونة فى الخرسانة المسلحة ، وهى توفر للمشاهد لغة جمالية جديدة وأصيلة . كما تعبر جميع التشكيلات المزدوجة والمفردة الانحناء السابق بحثها عن اللغة الجديدة التى تقدمها الخرسانة المسلحة فى مجال التشكيل المعمارى .

وصلة العمود بالبلاطة المحمولة تعبر عن طبيعة المادة . وهى فى الخرسانة المسلحة صلة انسيابية مستمرة تعتبر الأعمدة المشرومية أحسن تعبير عنها — وهى تعبر فى الوقت ذاته عن الانتقال الانسيابى للأحمال من المستوى الأفقى الحامل إلى الأرض . وقد أظهر روبرت مايار حساسية بطبيعة المادة مصحوبة بفهم عميق للإنشاء (شكلى ١٧١ ، ١٧٢) ، والمهم أن نقارن أشكاله المشرومية بأخرى مخروطية أو هرمية لنتحقق من هذا الاهتمام بالتعبير . والأعمدة المصنوعة من الصلب أو الخشب تقدم تناقضاً يوضح نفسه تلقائياً . كما تقدم تطبيقات فرانك لويد رايت للأعمدة المشرومية (شكلى ٥٣١ ، ٥٣٢) وأعمدة كارلو موللينو (Carlo Mollino) فى نادى الانزلاق على الجليد فى بحيرة تيرو بإيطاليا (شكل ٥٣٣) أمثلة ناجحة فى نفس الاتجاه . وفى المثل الأول اتسعت رءوس الأعمدة لتكوين وحدات السقف . وفى حالات أخرى يتسع العمود دائرياً ليكون السقف جميعه فى المطعم الدائرى على شاطئ أوستيا بإيطاليا (شكل ٣٤٧) وهنا يبلغ التعبير البلاستيكى الانسيابى أقصى درجاته . هنا يندمج الحامل والمحمول فى وحدة إنشائية تعبيرية واحدة .

وفى نفس سقف المطعم السابق استعملت ظاهرة إنشائية أخرى أكدت التعبير المقصود ، وهى

ظاهرة الأعصاب المتقاطعة المستمرة ، وهى تدل دلالة واضحة على عملية الصب التى هى جزء لا يتجزأ من طبيعة المادة .مثل هذا التكوين مستحيل التنفيذ بالخشب والصلب . وقد استعمل نيرفى هذا التشكيل بوعى إنشائى وحساسية فى نادى شيانسيانو للرقص (شكل ٥٣٤) وفى الاستاد الأوليمبى فى روما (شكل ٣١٠) . وفى الأسقف الأفقية استعمل نيرفى هذا التكوين فى مخازن الطباق فى بولونيا بإيطاليا (شكل ٥٣٥) وفيها تظهر حساسية للانسياب من البلاطة والأعصاب وبين الأعصاب ذاتها . هذا التصرف لا يترك مجالا للشك فى طبيعة المادة البلاستيكية . وقد استعملت الحشوات فى تنسيق مختلف فى سقف بدروم مصانع (Gatti) للصوف بروما (شكل ٥٣٦) . وقد أشار نيرفى إلى أن الأعصاب نسقت فى هذا السقف على أساس الخطوط المتساوية الاستاتيكية (Isostatic Lines) لعزوم الانحناء الرئيسية . هذه الأعصاب المنحنية تمتد مستمرة بين الأعمدة الحاملة وتتقاطع على زوايا قائمة . وهناك مثل آخر يستحق الذكر لنجاحه فى هذا الاتجاه من التعبير وهو السقف « الثلاثى الأبعاد » لمبنى الفنون بجامعة ييل والمكون من حشوات على شكل أهرامات منتظمة مثلثة القاعدة (Tetrahedrons) . ومع أن هذه الأسقف التى وضع تصميمها المهندس المعمارى «لويس كان» من فلاديلفيا إنشائية أساساً، فإنها تعبر بطريقة ناجحة عن طبيعة مادتها (شكل ٥٣٧) . والخرسانة المسلحة فى هذا الاتجاه خلقت لغتها الجمالية النابعة من الكفاية الإنشائية البحتة .

والخرسانة المسلحة بمالها من خاصية التماسك والاستمرار المادى والهندسى تسهل إنشاء الأسقف الكابولية المتكررة من أعمدة رأسية مستمرة ، ومن ثم يصبح تأكيد هذه الإمكانية تعبيراً معماريا عن خاصية تتميز بها الخرسانة عن أى مادة إنشائية أخرى. وقد حاول هنبيلك أن يعبر عن هذه الإمكانية بطريقة مزدحمة فى تصميمه لمنزله فى مدينة بورج لارين، وكانت النتيجة استعراضاً أكثر منها تعبيراً (شكل ٢٠) . وقد أكد بيريه بطريقة ناجحة كوابيل العمارة رقم «٥ » شارع فرانكلين وذلك باستعمال بلاطات مستوية لشرائط مستمرة على الكوابيل والأعمدة وبلاطات بشكل الزهور على الحشوات (شكل ٤٨) . وقد استعمل جارنييه الكوابيل بنجاح بمشروعه للسقيفة الخارجية للمحطة المركزية للسكك الحديدية للمدينة الصناعية المثالية (شكل ٥٩) . هذه الإمكانية التى تمتاز بها أسقف الخرسانة المسلحة للبروز بعيداً عن نقطة الارتكاز قد استعملها المهندس تروخا بطريقة دراماتيكية فى سقف الاستاد بمدريد (شكل ٥٣٨) كما استعملها نيرفى بوحدات خطية منحنية فى سقف أستاد فلورنسا (شكل ٥٣٩) .

وقد استعمل المهندسون المعماريون سولانو وأورتيجا وبوربانو سقفاً قشرياً خرسانياً ذا بروز

جرىء لسقف استاد البيسبول فى قرطاجنة بكولومبيا (شكل ٥٢٨) . وفى هذا السقف نجد أن القبوات الكابولية والمنحنيات القوية فى المسقط والقطاع والفتحات فى مؤخرة السقيفة جميعها كانت وسائل تعبيرية أكد بها المهندسون طبيعة المادة المستعملة وطريقة الإنشاء . كما استغلت القبوات الطويلة المفردة الانحناء ككوابيل مزدوجة متوازنة فى محطة صيانة الأتوبيسات فى بوجوتا بكولومبيا محققة نفس القوة التعبيرية (شكل ٥٤٠) . وقد استغل فرانك لويد رايت هذه الخاصية لتأكيد أفقيات منزله لإدجار كاوفمان فى بنسلفانيا (شكل ٥٤٢) .

وقد برع المهندس كانديلا فى استعمال القطاع الزائدى المكافئ فى أسقف كابوليه معبرة كما فى سقف كنيسة الإرسالية مع المهندس المعمارى لامورا (شكلى ٣٥٧ ، ٣٥٨) . وهنا نجد تناقضاً غير مريح بين السقف الخرسانى الخفيف الجرىء وبين القاعدة الحجرية الثقيلة مما أفسد التعبير العام . وقد عالج نفس المهندسين هذا الشكل بطريقة أكثر نقاء وتأكيداً للخاصية البلاستيكية للخرسانة المسلحة فى كنائسهم الأخرى السابق الإشارة إليها فى مونتري (شكل ٣٦٥) وفى كويا كان (Coyoacan) بالمكسيك (شكل ٣٦٧) حيث لم تتداخل أى وحدة فى المبنى مع التعبير الواضح للسقف القشرى . كما برزت الاتجاهات الكابولية فى تكوينات بالقطاع الزائدى المكافئ فى العلامة المميزة فى كويرنافاكا (Cuernavaca) بارتفاع ١٠½ متر (شكل ٥٤٢) والمظلة الكبيرة فوق غرفة الحارس ، والمظلات الأصغر المغطية للممر فى معامل سيبا (Ciba) بمكسيكو (شكل ٥٤٣). وجميعها أمثلة تعبر عن بلاستيكية وتماسك التشكيل الخرسانى عن طريق الكوابيل الجريئة المستمرة المكونة من مسطحات رقيقة مزدوجة الانحناء .

الاتجاه التعبيرى : التعبيريون فى محاولاتهم للوصول إلى أشكال جديدة للوظائف الحديثة وجدوا فى بلاستيكية الخرسانة المسلحة فرصة للتشكيل الحر الجديد الذى يصل بهم إلى هدفين : أولهما التعبير بالشكل الجديد عن طابع المبنى ، وثانيهما التعبير عن بلاستيكية الخرسانة ، وذلك عن طريق انسياب أجزاء الشكل بعضها فى بعض . وهم لم يتجهوا نحو هذا الهدف عن طريق الانسياب والاستمرار الإنشائى ، بل عن طريق الانسياب الهندسى بالمستويات الأسطوانية المقعرة والمحدبة أو المائلة . والاسكتشات الأولى للمعمارى الألمانى مندلسون تعكس هذا الاتجاه التعبيرى الجديد (أشكال من ٥٤٤ إلى ٥٤٨) . كما أن تصميمه لبرج أينشتين فى بوتسدام بألمانيا عام ١٩٢٠ فريد فى هذا الاتجاه (شكل ٥٤٩) . وهنا عبر المصمم عن التماسك المادى فى الخرسانة عن طريق الأركان المنحنية والفتحات الصغيرة الدائرية والقاعدة الهرمية للمبنى واستمرار الخطوط والمستويات المنحنية . هذا الاتجاه واضح جداً فى المدخل حيث استمرت السقيفة

من فوق الباب إلى أسفل لتندمج فى سور تراس المدخل المرتفع . كما أن سقيفات الفتحات مستمرة مع الكتلة المحيطة . ومن أعمال مندلسون الأخرى مصنع القبعات فى لوكنڤالد حيث تكون الشكل العام من ثلاث كتل هرمية ذات ميول مختلفة (شكل ٣٥٠) . ومن الأمثلة الفريدة السابق الإشارة إليها فى هذا الاتجاه التعبيرى مبنى الجويتيانم بمدينة دورناخ بسويسرا الذى صممه المعمارى شتاينر كقطعة من التشكيل الخرسانى العضوى المتكامل الممتد فى الأرض كالجذور ، ومنها تنمو الأعمدة والحوائط التى تتكامل مع السقف بأشكال انتقالية محدبة ومقعرة بدون تحديد لبداية ونهاية للحامل والمحمول (شكل ٦٧) .

وقد اتخذ لوكوربوزييه مهندس المكعبات والأسطوانات اتجاهاً تعبيرياً جديداً فى معظم مبانيه الخرسانية وهو اتجاه الخرسانة العارية (Beton Brut) فقد ابتدأ بعد الحرب العالمية الثانية باستعمال مجموعة تكوينات بلاستكية حرة فى حديقة السطح فى مجموعة مرسيليا السكنية . وقد أحاط السطح بسور عال وملأه بأشكال حرة (Sculptural Elements) من مداخن كبيرة مخروطية وجبل خرسانى مملوء بالكهوف والأنفاق للعب الأطفال وأرائك خرسانية منحنية للأمهات وحائط خرسانى كبير للعرض السينمائى (شكل ٥٥١). الجميع تشكل فى تكوينات حرة تتناقض مع استقامة التكوينات الهيكلية فى باقى المجموعة السكنية ، وبأشكال تعود بنا إلى مشروعات المهندسين الفرنسيين بوليه ولودوه ، وإلى أعمال المهندسين جاودى وستاينر التى لا شك أن لوكوربوزييه قد رآها وتأثر بها . وقد تطور لوكوربوزييه فى هذا الاتجاه إلى استعمال التكوينات البلاستيكية فى الشكل العام لمبانيه بعد أن كانت تقتصر على الأسطح والسلالم الداخلية والخارجية . هذا التطور سيطر على تصميماته لمدينة شانديجار وبخاصة فى مبنى المحكمة العليا ، وسقفه النهائى الذى استعمله كخزان لمياه الأمطار (شكل ٥٥٣). كما أنهى لوكوربوزييه شبكة الأسلحة أمام الواجهة بمنحنى إلى الخارج لكى يكتمل التعبير البلاستيكى للواجهة والسقف العام . وفى كنيسة نوتردام دى هوه (Notre Dame du Haut) فى رونشان (شكل ٥٥٤) استعمل حوائط ثقيلة منحنية مائلة يرتكز عليها سقف منحن . وهى فى تأثيرها العام ترجع بالمشاهد إلى المقابر الأرضية الرومانية (Catacombs) أو المناسك الحجرية فى العصور الوسطى ، أو إلى أعمال التعبيريين فى أوائل القرن العشرين .

الاتجاه الزخرفى : الاتجاهات السابقة للتعبير عن بلاستيكية الخرسانة استعملتها كمادة إنشائية انسابت وحداتها واستمرت مادياً وهندسياً سعياً وراء الكفاية الإنشائية أو التعبير الفنى البلاستيكى . وقد تستغل هذه البلاستيكية وتؤكد عن طريق إمكانياتها فى الانطباعات وفى التشكيل فى قوالب . وقد قرر رايت أن هذا

الاتجاه هو الاستعمال السليم الوحيد بالخرسانة عن طريق البلوكات الخرسانية المتكررة كأسطح خارجية لقالب خرسانى .

وقد بحثنا من قبل الدور الذى تلعبه هذه الوحدات ، كأسطح لحوائط أو كقواطيع مفتوحة زخرفية ، نحو غنى السطح الخرسانى . ومن المهم أن نلفت النظر هنا إلى أهمية اختيار التصميمات الزخرفية البلاستيكية غير الميكانيكية المناسبة للخرسانة ولطريقة الصب . كما يجب تلافى الزخارف ذات الأركان الحادة ؛ إذ أنها غير عملية وعرضة للكسر ومناسبة لطبيعة النحت الزخرفى فى الحجر . كما أن نسب المخرمات الخرسانية يجب أن تكون مناسبة لإمكانياتها بحيث لا تكون رفيعة فتختلط على الرائى بنسب الزخارف الحديدية ، ولا سميكة فتقترب من نسب الزخارف الحجرية المنحوتة . كما يجب أن تكون الوحدات بعضها مع بعض تكوينا متكاملا بلاستيكيًّا حرًّا بالمادة وبالفراغ .

وهناك اتجاهات ناجحة يتعاون فيها المعمارى والفنان على استغلال السطح الخرسانى كمجال للتعبيرات الفنية ذات المسطحات الكبيرة . وهنا تتزاوج العمارة والفن ويصبح التعبير الفنى والملمس أساسيًّا فى الوحدات المعمارية بدلا من أن يكون مضافًا إليها أو زائداً عليها . والعمل الفنى هنا سيكون معبراً عن معنى معين متصل بوظيفة المبنى فى المجتمع أو معبراً عن بلاستيكية المادة عن طريق ملء وحدات مقفلة بسطح غنى بالظل والنور . ومن أوائل المعماريين الحديثين فى هذا الاتجاه لوكوربوزييه الذى استغل حوائط الطابق الأرضى بمجموعاته السكنية فى مرسيليا وفى نانت (Nantes) لعمل انطباعات غاطسة فى الخرسانة لأشكال الموديلور (Modulor) (شكل ٥٥٥) . وفى الولايات المتحدة اتجه التعبير الفنى بالخرسانة إلى الوحدات السابقة الصب فى قوالب من الجبس أو الرمل المرطب أو الأسمنت . كما تعاون المعمارى والنحات فى إخراج مسطحات كبيرة من هذه البانوهات البلاستيكية ، ومن أمثلة ذلك مركز العرض فى ساحة ماكورملك على شاطئ البحيرة بشيكاجو (Mc Coermick Place) وقد غطيت حوائطه بثلاثة وأربعين بانوها بارتفاع ٥٠ قدمًا . والبانوه يتفاوت عرضه من ١٦ إلى ٥٠ قدمًا . وكل بانوه يتكون من إحدى عشرة وحدة أفقية ذات ركام مكشوف وانطباعات بلاستيكية . وقد قام بتصميم وتنفيذ البانوه النحات نيقولا (C. Nivola) مع المعماريين شو وميتز ودوليو (Shaw, Metz & Dolio) (شكل ٥٥٦) . وقد قام نفس النحات بتصميم البانوهات السابقة الصب لواجهة المبنى المركزى لشركة ميوتوال أوف هارتفورد مع المعماريين شيروود وميلز وسميث (Sherwood, Mills &Smith) (شكل ٥٥٧) . وقد أصبحت البانوهات الخرسانية

السابقة الصب مجالاً متسعاً لاندماج الفن والعمارة لخلق مسطحات على درجة عالية من الغنى البصرى والتعبيرى .

ثانياً : الخرسانة كمادة قوية فى الانضغاط

الاتجاه المباشر والطبيعى للتعبير عن هذه الخاصية هو تشكيل المادة فى أشكال تضمن تحويل أغلب الإجهادات إلى إجهادات انضغاط . وجميع الأوضاع الإنشائية ذات الأسطح الفعالة إذا ما ظهرت كذلك للمشاهد تكون كاشفة ومعبرة ومؤكدة لهذه الصفة المصاحبة للخرسانة .

والجمع بين الخرسانة والصلب فى منشأ واحد بحيث تشغل الأولى قطاعات الانضغاط والثانية قطاعات الشد يعبر عن خواص الاثنتين معاً . هذا التعبير يظهر بصراحة فى جميع التكوينات للأسقف المعلقة حيث تتحول الخرسانة إلى أعمدة أو عقود على أشكال قطاعات مكافئة تعلق منها كابلات من الصلب تحمل أسقفاً معلقة . هذه التكوينات على أعلى درجة من الإيضاح والتعبير لوظيفة كل من الأعمدة أو العقود الخرسانية والكابلات الصلب ولطبيعة كل من المادتين . وهنا يلزم وجود تناقض واضح وصريح بين القوة والضخامة فى العقود الخرسانية والخفة فى كابلات الصلب . «الكوبرى» السويدى على نهر انجرمان (Angermaalvn) فى مدينة هامر (Hammar) مثل ناجح لهذا النوع من التعبير (شكل ٥٥٨) .

والتعبير عن هذه الخاصية فى الخرسانة قد يكون عن طريق تأكيد قوتها فى وحدات الانضغاط فى الأسقف القشرية المنحنية أو الأعمدة . وقد اتخذ المعمارى أوجست بيريه هذا الاتجاه التعبيرى فى أعمدته الخرسانية الأسطوانية التى أعطاها نسباً رشيقة فى كنيستى نوتردام دى رانسى (شكل ٥٥٩) وسانت تيريز بمونمانى (شكل ٤٨٩) ، وذلك للتعبير عن قوة الخرسانة فى الانضغاط . كما قسمت الأعمدة الركنية الكبيرة فى برج الكنيسة الأولى (شكل ٥٢) لنفس الغرض إلى حزمة من الأعمدة الرشيقة الدائرية . وقد حذفت الأعمدة الخارجية للحزمة فى الارتفاعات العليا للبرج لتصغير القطاع الكلى ونتج عن ذلك تأثير متناقص فى البرج . هذا الاتجاه فى تصميم الأعمدة تسبب فى تشابه تأثيرها العام مع الانشاء الخشبى .

وهناك اتجاه آخر نحو تأكيد خاصية الانضغاط خلال التعبير عن الثقل والكتلة والضخامة للإنشاء الكتلى (Mass Construction) . وهنا يختلط الأمر بين خاصية تحمل الانضغاط فى الخرسانة العادية وخاصية القوة فى الانضغاط مع تحمل الشد فى الخرسانة المسلحة . وقد اتجهت تصميمات جارنييه المنفذة فى مدينة ليون إلى التعبير عن خاصية الانضغاط خلال الكتلة والضخامة ، فاستعمل

كتلا ثقيلة ضخمة بمنحنيات كوحدات انضغاط لصالة الاجتماعات والاستاد بمدينة ليون[٣]. والأخير له أعمدة ضخمة تحمل مجموعات من عقود ثقيلة. والعقد المركزى الكبير ذو الدعامات الثقيلة المدرجة يؤكد التماثل فى التشكيل بينه وبين الخرسانة الرومانية. كما استعمل جارنييه أعمدة دائرية كبيرة القطاع تحمل كمرات ضخمة فى مبنى الرياضيين بليون، إلا أن طبيعة المادة البلاستيكية قد ميزتها عن الأعمدة الحجرية بفرضها الاستمرار المادى والهندسى بين العمود وقاعدته المثمنة بانتقال انسيابى بينهما. هذا التعبير عن طريق الكتلة (mass) يتطلب فتحات ذات مسطحات صغيرة. وقد يحقق استعمال التشابيك أو الوحدات الزخرفية فى نقط محدودة تخفيفاً للملل فى الأسطح المصمتة الثقيلة. كما تساعد السقيفات الأفقية البارزة على مثل هذه الأسطح الرأسية فى تأكيد خاصيتها كوحدات انضغاط، ويعتبر معبد يونتى فى أوك بارك بإلينوى الذى صممه فرانك لويد رايت مثلا ناجحاً لهذا الاتجاه فى استعمال الخرسانة.

التعبير عن طريقة الصناعة: أطفال القرية مجتمعون حول الحداد أو النساج اليدوى، وسكان المدينة واقفون حول البنائين أو مراقبون لمكينات دق الخوازيق أو خلط الخرسانة، جميعها من المشاهد المعتادة فى نيويورك أو القاهرة أو طوكيو.

«ويجد الناس سروراً عميقاً إذا ما نظروا لإنتاج أحدهم فيما بعد وهم على علم سابق بالطريقة التى تم بها العمل. وسيكون سرورهم أعظم إذا ما اكتشفوا بأنفسهم طريقة الصناعة بدون مراقبتها. وعلامات المطرقة الواضحة على لوح النحاس ستسهل طريقة التعرف، وستبدو كمسحة من الجمال أكثر منها عملا غير منته»[٤].

والخرسانة كمادة بلاستيكية تتيح مجالات لمثل هذه الاتجاهات التعبيرية عن طريقة الصناعة. مثل هذه الاتجاهات تؤدى إلى متعة فنية للمشاهد كما تضيف شخصية وترابطاً للمبنى بأسره، الأمر الذى يمنحه طاقة فنية تساعد على اكتمال متعته الجمالية.

وللتعبير عن طريقة الصناعة الخرسانية يتجه المصمم إلى تأكيد طبيعة المعدات والآلات وطرق المعالجة المختلفة عن طريق تأكيد آثارها على المادة ذاتها وعلى طريقة تصميمها وأشكالها الناتجة. وقد نتج عن هذا الاتجاه أشكال معمارية بالخرسانة شاعت وأصبحت مظاهر المذهب شكلى تعبيرى عام للخرسانة العارية (Béton Brut) وامتد هذا الأسلوب التعبيرى الصريح ليكشف كل ما هو مغطى مبتدئاً بمبانى الطوب البدائى الظاهر ومنتهياً بترك الوحدات الميكانيكية والكهربية مكشوفة على الحوائط والأسقف.

تأثير الشدات

سبق أن شُرِحَت طرق الكشف عن انطباعات الشدات فى المسطح الخرسانى الناتج . وقد كانت أعمال بيريه وتلميذه لوكوربوزييه فى فرنسا قيادية وسباقة فى هذا الاتجاه . كما ظهرت استعمالات ناجحة فى اليابان لتلميذ لوكوربوزييه المعمارى كنزو تانجى ، وهذه بلغت حداً بعيداً من التعبير عن طريق الصناعة .

وهنا يجدر بنا أن نفرق بين اتجاهين للتعبير عن طريقة الصناعة عن طريق الشدات ، فقد يتجه المعمارى إلى إظهار تأثيرها فى السطح والملمس . وقد سبقت الإشارة إلى بعض احتمالاته . وقد يذهب المعمارى فى هذا الاتجاه إلى حد أن يترك لطبيعة الشدات ، خشبية كانت أو معدنية ، أن تتحكم فى الشكل العام للتكوين الخرسانى كما فى قول أوجست بيريه :

« وهكذا يتجه المصمم إلى تحقيق مظهر خارجى بهيج عن طريق الالتزام بالخطوط المستقيمة التى يفرضها استعمال الخشب ، ويمكننا استعمال الأشكال المنحنية، ولكنها ستكون مرتفعة الثمن جداً . أليس حقيقة أن الاستعمال الاقتصادى للمادة يتحكم فى طرازها »(٥)

وهنا تظهر خطورة التمادى فى الارتباط بطبيعة الشدات ، فمن الممكن استعمال الحوائط المستقيمة كنتيجة وتعبير عن دخول الشدات الخشبية فى البناء الخرسانى . ولكن إذا أصبحت هذه الأشكال هى المفروضة على الخرسانة المسلحة ؛ لأن الأشكال المنحنية تتطلب شدات باهظة التكاليف ، فهذا ينطوى على مبالغة فى تقدير أهمية دور الشدات . وحتى لو سلمنا بأن الاقتصاد فى المادة يقرر طرازها — وهو محل خلاف فى الرأى — فأىّ من المواد نقصد هنا بالاقتصاد : هل هى الشدات الخشبية أو الخرسانة ذاتها ؟ لقد تبين من قبل أن استعمال الأشكال المنحنية ينتج عنها اقتصاد فى كميات الخرسانة المسلحة ذاتها . والنتيجة الاقتصادية النهائية تتغير حسب ظروف وطبيعة التصميم ، وهذه فى نفسها متغيرة ليس فى مقدورها فرض اتجاه مطلق لعمارة الخرسانة المسلحة .

تأثير سبق التجهيز

التعبير عن طريق الصناعة يمتد إلى تأكيد وتوضيح عملية الصب سواء تمت على الموقع أو فى المصنع . وقد نوقشت طرق استغلال الصفة البلاستيكية للخرسانة فى الوصول إلى أشكال معمارية معبرة. وللصب فى المصنع خصائص وحدود معينة تفرض نفسها على التشكيل المعمارى ويصبح تأكيدها واحترامها فى نطاق التعبير السليم عن طريق الصناعة .

يفرض سبق التجهيز بصفة عامة التوحيد القياسي والتكرار والنظام، والمصمم ينبغى له أن يحترم

هذا ويستغله لمصلحة تصميماته ، وذلك بتأكيده كمصدر للجمال بدلا من محاولة التخلص منه كقيد محدد لحرية المصمم . وسبق التجهيز يفرض باكيات متساوية العروض والارتفاعات بنسب ثابتة تضمن التوافق (Harmony) بين عناصر المبنى ، وبينها وبين الشكل العام للمبنى ، وبين المبنى ذاته والمنطقة بأكملها . وهنا تجدر الإشارة إلى مبدأ هام وهو تأكيد الفواصل بين البانوهات سواء أكانت بعروض المعدل الإنشائى أو المعدل الجزئى المعمارى ، وذلك بالارتداد بمادة اللحام إلى الخلف قليلا بدلا من محاولة تقفيلها أو تغطيتها . ذلك التأكيد هام من الناحية الإنشائية ومن الناحية الجمالية التعبيرية (شكل ٤٤٥) . كما يحسن لنفس الغرض التعبيرى تأكيد الأسقف على الواجهات فى شرائط أفقية واضحة ، بارزة أو على مستوى الواجهة ، بدلا من الارتداد بالسقف إلى الخلف وتكسيته بالطبقة الخارجية من الحائط .

والفتحات قد تفرغ بانتظام فى الحوائط الحاملة . إلا أن الحل الأوفق هو تصنيع بانوهات الحوائط بعرض الجزء المصمت مع ترك الفتحات كفراغات بين البانوهات وهذه تملأ ببانوهات جاهزة خاصة بها (شكل ٥٦٠) . هذه البانوهات قد تكون خشبية أو معدنية تهيأ فيها الفتحات والجلسات .

النتيجة الطبيعية النهائية لمبنى خرسانى سابق التجهيز هى النتيجة المعبرة عن طبيعة الصناعة فى شكل تكعيبى منتظم بحوائط خرسانية بسيطة فى باكيات على معدل رأسى وأفقى ثابت ، وبوحدات مستوية متجانسة ذات تقسيمات رأسية وأفقية مؤكدة بين أسقف أفقية ثابتة العمق ، وفتحات منتظمة فى بانوهات خاصة بها تتبع نفس المعدل الإنشائى أو المعدل الجزئى المعمارى . الحوائط ذات سطح خرسانى منهى نهواً ناعماً أو خشناً على مستوى عال من الصناعة نتيجة لطبيعة الصب الأفقى فى المصنع مع إمكانية السيطرة على اللون والملمس والقشرة الخارجية إن وجدت . والبلوكات الخرسانية الزخرفية — كأسطح خارجية لحوائط جاهزة أو مصبوبة على الموقع — ما هى إلا مظهر معمارى لعملية سبق التجهيز وما تتيحه من إمكانيات للأسطح الزخرفية فى الداخل والخارج (أشكال من ٤٩٦ إلى ٤٩٩) .

وفى الدواخل نجد أن الأسقف — أفقية كانت أم منحنية — تعتبر مجالا للتعبير المعمارى عن طرق سبق التجهيز الجزئى بوحدات متكررة . وفى هذا الاتجاه تكمن أسرار نجاح أسقف المهندس بيير لويجى نيرفى وتأثيرها البصرى القوى (شكل ٥٢١) . فالسطح الداخلى لمبانيه يمتلئ بالظلال والنور على وحدات متكررة ، وعلى أشكال معينات أو مربعات أو منحنيات ، مكونة فى مجموعها سقفاً متكاملا على أشكال مستوية أو مفردة أو مزدوجة الانحناء ، وبمساقط معمارية تتناسب مع الاحتياج

المعماري . وتُكوِّن هذه الوحدات المتكررة ذات الأعداد الهائلة أعصاباً منتظمة وبانوهات على شكل بلورات (Crystals) تمتد إلى أعمدة ظاهرة مستمرة مع محور السقف ذاته . هذا التكرار الهائل المنتظم لم يكن ممكناً بدون سبق التجهيز لوحدات منتظمة متكررة أضافت بظهورها جمالا للسطح وتعبيراً قوياً عن طبيعة الصناعة . وهنا اتحدت الكفاية الإنشائية والصناعية لتعطى سطحاً قوياً معبراً. مثل هذا الاتجاه ليس له حدود إنشائية وجمالية . فأشكال الوحدات السابقة الصب المكونة للشدات الدائمة والمكونة للشكل العام للسقف لا قيود عليها . فالتشكيلات على عدد قليل من القوالب ، تعطى فى النهاية أعداداً هائلة من البانوهات ذات الطاقة اللانهائية فى الجمال السطحى والتعبيرى .

ومن طرق الصناعة ذات التأثير الكبير فى الواجهات طريقة سبق التجهيز على الموقع للبلاطات ثم رفعها على أعمدتها حتى مستوياتها النهائية (Lift Slab) . فالبلاطات الأفقية المتماثلة ذات العمق الثابت والشكل الهندسى المنتظم البسيط والتى تبرز بقوة على أعمدة منتظمة تستمر بكامل ارتفاع المبنى ، هى فى ذاتها تعبير منطقى سليم . وهنا تبرز ضرورة تأكيد أفقية الواجهات وبساطتها واستمرارها المطلق (شكل ٥٦١) ، كما يجدر تأكيد تساوى الباكيات وانتظامها بين أعمدة من الصلب أو الخرسانة تمتد خلال بلاطات أفقية متطابقة كابولية كتعبير مباشر ذاتى عن طريق الإنشاء ، كما يجب أن تؤكد الحوائط الخارجية فى هذه الحالة أفقية الواجهة وطبيعتها كواجهة غير حاملة (شكل ٥٦٢) .

التعبير عن طريقة التجميع الإنشائى :

قال أوجست بيريه فى إحدى كتاباته المشهورة :

« من يخفى جزءاً من هيكل إنشائى يحرم نفسه من الزخرف الأصيل الوحيد ومن أجمل حلية يمكن للعمارة أن تتحلى بها .

ومن يخفى كمرة يرتكب خطأ .

ومن ينشئ كمرة مزيفة يرتكب جريمة[٦] .

وتأكيد الإنشاء والتعبير عنه ، سواء بكشفه أو بالإشارة المعمارية إليه ، هو تعبير عن الحقيقة الأساسية المطلقة ؛ حقيقة مبنية على النظام والمنطق السليم وهما أساس الجمال . ومن ثم يكون تأكيد الإنشاء والتعبير عنه ، سواء بكشفه أو بالإشارة المعمارية إليه ، تأكيداً منطقياً سليماً لحقيقة مطلقة تؤدى إلى الجمال والمتعة الفنية المعمارية . وكما ذكرنا فإن هذا التعبير قد يتأتى بالكشف الصريح أو بالإيحاء . وإذا رجعنا إلى الخلق العضوى نجد أن هيكل ورقة الشجر مكشوف ، فى حين أن الهيكل

العظمى للإنسان مكسو بالجلد والعضلات (شكلى ٥٦٣ ، ٥٦٤) . وفى الحالتين يعتبر الإنشاء المرئى أو المحسوس به من البواعث الأساسية للشكل الجديرة بالالتفات والتقدير .

ولتوضيح التأثير الجمالى للتعبير الإنشائى يجدر بنا أن نشير إلى مثلين لنفس المهندس وهو الإنشائى نيرفى ، وقد نتج عن اختلاف المبدأ المعمارى العام فى الحالتين اختلاف مستويات النجاح الجمالى . الأول قصر الرياضة بروما عامى ١٩٥٨ ، ١٩٥٩ (شكل ٥٦٥) وفيه اختفى المنشأ الناجح داخل أسطوانة رأسية زجاجية ذات أعمدة رأسية مستقلة وذات إنشاء مخالف تماماً لإنشاء القبة الداخلية ، وبهذا حُرم التكوين الخارجى من التكامل الشكلى على أساس إنشائى انتفاعى ، الأمر الذى لم يحدث فى مثل ثان لنفس المهندس فى قصر الرياضة الصغير سنة ١٩٥٧ مع المعمارى ڤيتيلوزى (Vitellozzi) (شكل ٥٦٦) . ففى هذا المبنى الأصغر ظهرت الأعمدة المائلة الحاملة للقبة والمستمرة هندسياً معها على الخارج بطريقة مباشرة تعتبر من أنجح الأمثلة المعمارية للتعبير الإنشائى الصريح .

التشكيلات الإنشائية الخطية :

فى أغلب التشكيلات ذات الأسطح الفعالة يكون الإنشاء بطبيعته جزءاً كبيراً من الغلاف الخارجى . أما فى التشكيلات بالوحدات الخطية فلا يلعب الإنشاء دوراً ما كمغلف للفراغ ، بل راسماً له ، حيث يكون تعرضه للخارج دائماً خطياً . وهناك اتجاهات مختلفة ينبنى عليها التعبير المعمارى عن طبيعة الإنشاء الهيكلى ، وبالتالى المعالجة الخارجية للإنشاء الخطى والغشاء المغلف له .

ففى الهياكل الخطية المستمرة ذات الدور الواحد وذات البحور الواسعة قد يتجه المصمم إلى تأكيد الهيكل على الواجهة والداخل سواء أكان الهيكل تكعيبياً أم منحنياً . ومن طرق معالجته إبرازه إلى الداخل أو الخارج مع استعمال حشوات غير إنشائية بين الهياكل (شكل ٥٦٧) . من هذه الحشوات بانوهات الزجاج الملون فى كنيسة سانت موريتياس (St. Mauritius) فى مدينة ساربروكين (Saarbrucken) بألمانيا . والتناقض بين البانوهات الرقيقة والهياكل الخرسانية القوية يساعد على تأكيد طبيعة كل منها (شكل ٥٦٨) .

وفى الهياكل الخرسانية متعددة الأدوار يتجه بعض المعماريين إلى التأكيد الرأسى للأعمدة* حيث إنها هى الحاملة الرئيسية للأوزان وبالتالى هى الأجدر بالإبراز والتأكيد . هذه المعالجة تؤكد طبيعة

* سبق أن اتخذت مدرسة شيكاجو فى أواخر القرن التاسع عشر نفس الاتجاه بالإنشاء الحديدى كتعبير معمارى للمبانى متعددة الأدوار كما يظهر ذلك فى أعمال ساليڤان وهوليبارد وروش (Hollibard & Roche) وبرنهام وروت (Burnham & Root) فى شيكاجو وسانت لويس وبافالو . وقد تبعها معماريو نيويورك فى القرن العشرين فى ناطحات السحاب كما فى مجموعة روكفلر .

الاستمرار المادى والهندسى فى الأعمدة الخرسانية الرأسية، الأمر الذى تمتاز به عن المبانى الحجرية أو الخشبية أو المعدنية . هذا التأكيد الرأسى يمكن الوصول إليه بكشف الأعمدة على واجهة المبنى بارزة عن الحشوات والبلاطات والكمرات . ويزداد التأكيد الرأسى للواجهة بعمل أسلحة مستمرة لتثبيت الشبابيك ذات بروز وعرض أقل من الأعمدة الحاملة مع التمييز بالألوان القاتمة للأعمدة والفاتحة للحشوات والأسلحة . مثل هذه المعالجة ترتقى بالتعبير المعمارى عن طريق تداخل إيقاعات رأسية ذات درجات مختلفة مع إيقاعات أفقية للشبابيك وجلساتها (شكل ٥٦٩) .

وقد عالج ميزڤان ديروه الهيكل الخرسانى متعدد الأدوار فى مشروعه لعمارة فى شيكاغو سنة ١٩٤٦ على أساس تأكيد خاصيته الرأسية المستمرة مع تأكيد حرية التشكيل الخرسانى . وقد عبر ميز بكل صراحة ووضوح عن تزايد أحمال الأعمدة كلما قربت من الأرض ، وذلك عن طريق زيادة قطاعاتها إلى الخارج كل خمسة أدوار تقريبًا . وقد نفذ ميز هذه المعالجة فى عماراته السكنية لأساتذة معهد الينوى للتكنولوجيا بشيكاجو (شكل ٥٧٠) وفى عدة تصميمات لاحقة للهيكل الخرسانى .

والتأكيد للأفقيات فى الهياكل الخطية الخرسانية يتجه إليه بعض المصممين على اعتبار أن الأسقف الأفقية هى حاملات الأوزان المباشرة . هذا بخلاف الشعور الطبيعى بالاستقرار والاتزان والارتباط بالأرض الذى يصاحب الامتداد الأفقى البسيط . وقد اقترح ميزڤان ديروه فى باكورة حياته عام ١٩٢٢ حلاً معماريًا لمبنى مكاتب بالخرسانة فيه تتناوب شرائط من الجلسات المصمتة والفتحات الزجاجية . وقد تأكد الاتجاه الأفقى ببروز الأجزاء الإنشائية فى الأسقف وامتداداتها الرأسية فى الجلسات ، عن الفتحات المزججة (شكل ٥٧١) . ومع تأكيد ميز للأفقية فى الواجهة إلا أن الوحدات الرأسية قد ظهرت بطريقة منتظمة خلف الفتحات الزجاجية ، كما انكشفت فى المدخل العام لمجمع المكاتب المصمم . وقد أصبحت الشرائط الأفقية من فتحات زجاجية وجلسات متناوبة طابعًا مميزاً للعمارة الحديثة التى امتدت من أوربا إلى أمريكا الجنوبية لنرى مثلا منها فى مبنى سيكوروس بوليڤار (Securos Bolivar) فى بوجوتا بكولومبيا للمهندسين كويلار وسيرانوجوميز وشركاهم (Cuellar, Serrano Gomez & Cia) (شكل ٥٧٢) .

وفى تكوين آخر أكد لوكوربوزييه الأفقيات ببروز البلاطة الخرسانية مع تغليف المسافة بين البلاطة والأخرى بكاملها بالزجاج . ومن الاستعمالات المبكرة لهذا التكوين فى أعمال لوكوربوزييه (عام ١٩٣٢) الواجهة البحرية فى مبنى الطلبة السويسريين بجامعة باريس (شكل ٥٧٣) . وفى هذا المبنى كشف لوكوربوزييه الإنشاء بالأعمدة المستقلة فى الدور الأرضى (Pilotis) . وفى أمريكا الجنوبية نجد

أمثلة عديدة لهذا التكوين كما فى عمارة بنك باولستا دى كوميرسيو (Paulista de Comercio) بسان باولو للمعمارى رينو ليڤى (Rino levi) (شكل ٥٧٤) وعمارة بنك بواڤيستا (Boavista) بريو دى جانيرو وللمعمارى أوسكار نيماير (شكل ٥٧٥) . وفى استعمال أكثر واقعية وتوافقاً مع الجو ، تأكدت البلاطات الأفقية البيضاء كشرائط بين حشوات شملت أعمدة وكمرات قاتمة اللون وجلسات من الطوب ، وذلك فى مبنى (E.M.S.A.) ببيونس ايريس بالأرجنتين للمهندسين رافائيل ولويس جرازيانى (Rafael & Luis Graziani) (شكل ٥٧٦) .

واتجاه ثالث يؤكد تماسك واستمرار الوحدات الرأسية والأفقية فى الإنشاء الهيكلى ، وذلك عن طريق كشف الهيكل مع تأكيد متماثل للأعمدة والكمرات فى تشكيل شبكى متتابع رأسياً وأفقياً* . والشبكة الناتجة تحيط بفراغات قد تترك خالية لتراسات أمامية كما فى أغلب معالجات الفنادق الحديثة (شكل ٥٧٧) أو تملأ بحشوات من زجاج أو تشابيك (شكل ٥٧٨) . وقد ابتدأ بيريه هذا التكوين فى الخرسانة فى عمارته بشارع فرانكلين (شكلى ٤٨ ، ٤٩) وفى الجراج بشارع بانثيو عام ١٩٠٦ (شكل ٥٠) ، إلا أن ميله للكلاسيكية شجعه على تغليب الأعمدة الرأسية على الكمرات الأفقية ولو أن النتيجة العامة شبكية مغلفة بحائط خارجى كامل من الزجاج .

وقد يتجه المصمم فى اتجاه رابع نحو تأكيد الواجهة فى الإنشاء الهيكلى كسطح غير حامل على اعتبار بروزها عن مستوى الأعمدة ، رغم ما فى ذلك من إهمال لدور البلاطة الأفقية الحاملة للواجهة . ويغطى الواجهة بكاملها فى هذه الحالة تكوين معمارى خفيف يؤكد هذا الدور ، مثل هذا التكوين قد يكون من شبكة من الأسلحة الرقيقة . وقد قاد هذا الاتجاه المعمارى لوكوربوزييه وطوره من شكل هندسى منتظم فى مبنى وزارة التربية والتعليم بريودى جانيرو (شكل ٥٧٩) ، إلى أشكال حرة غير منتظمة فى مشروعه لعمارة سكنية بالجزائر (١٩٣٨ ، ١٩٤٢) وفى عماراته فى مرسيليا وبرلين وفى مبانى السكرتيرية وقصر العدالة فى شانديجار (شكل ٥٣٣) . ومن الأمثلة الناجحة فى البرازيل مبنى (C. I. B.) بسان پاولو للمعمارى كورنجولد (L. Korngold) (شكل ٥٨٠) . والاحتمالات الجمالية والانتفاعية لهذه المعالجة بمواد وتكوينات أخرى لا حدود لها . ومن المهم ملاحظة أن مسطحات الأسلحة تعتبر مسطحات خشنة غنية بالظل والنور ويجب معالجتها على هذا الأساس فى دراسة تكوينات الملمس على الواجهات المختلفة للمبنى (شكل ٥٨١ ، ٥٨٢) .

---

* ابتدأ ساليفان هذا التكوين بالإنشاء الحديدى فى مبنى كارسون پيرى وسكوت (Carson, Perie & Scott.) بشيكاجو عام ١٨٩٣ .

وقد يتجه التكوين المعبر عن طبيعة الغلاف الخارجي إلى تأكيده كغشاء رقيق مشدود (Stretched membrane) . هذا الاتجاه قاده معماريو الطراز الدولي ، وقد فسروه بأن شعوراً بأهمية الفراغ الداخلي مع التأكيد التجريدي للكتلة ، سيتولد نتيجة لهذه المعالجة . ولم يكن مهمـًّا في هذه الحالة كون الغشاء من مادة شفافة كالزجاج أو من مادة مصمتة ما دام شكلها الهندسي الأساسي مؤكدا ومحفوظاً . ومن ثم فقد بذلوا كل مجهود لإلغاء البروزات من أي نوع ، وكونوا كتلا هندسية على درجة عالية من البساطة محتفظين بطابع الغشاء الخارجي المحايد . وقد اتجهوا تحت هذا الهدف إلى الحوائط الملساء من البياض والزجاج في مستوى واحد مستمر ، وعندما اضطرتهم الاحتياجات الانتفاعية إلى استعمال الطوب كان ذلك بألوان فاتحة خفيفة وبعراميس من نفس لون الطوب . كما اتجهوا في بعض الأمثلة إلى التغليف الزجاجي الكامل للواجهة كطريق للتبسيط والتعبير عن طبيعة الغشاء الخارجي غير الحامل . وهنا تبرز الواجهات الزجاجية خارج الأعمدة والبلاطات لتكون غلافاً زجاجيًّا كاملا أصبح من العلامات المميزة للعمارة الأمريكية والأوربية* ، ونقلتها عنهما عمارات أمريكا الجنوبية وبعض مدن وبلدان الشرق الأوسط كبيروت والكويت . مثل هذا التكوين في البلدان الحارة الشديدة الإضاءة يسبب مضايقات بالإضافة إلى ما يسببه من زيادة في التكاليف الأساسية والمستمرة لا تبرره أي دوافع جمالية . وقد قل استعمال مثل هذه الواجهات حتى في البلاد التي لا تتعرض لأشعة الشمس القوية لما يصاحبها من صعوبات في تنظيف الزجاج وفي تسرب الأمطار ، وزيادة في الأحمال على أجهزة التهوية والتدفئة .

وقد سبق لنا الإشارة إلى المباني المتعددة الأدوار التي تحل فيها الأسطح محل الأعمدة الحاملة ، والتي تكون مع البلاطات الأفقية هياكل صندوقية ، وتكون الواجهة ذات خلايا منتظمة . وهنا يجب إبراز الدور غير الحامل للواجهة الخارجية ، وهذه يمكن تركها مكشوفة في بلكونات أو تغليفها بالزجاج (شكل ٥٨٣) ، أو ملئها كلها أو جزءاً منها بالتشابيك الخرسانية أو بطوب الواجهات (شكلي ٥٨٤ ، ٥٨٥) . وتحديد التشابيك أو الطوب في كادر خرساني سيساعد على تأكيد صفاتها غير الحاملة . وقد اتجه تصميم العمارات السكنية في شارع كنمور (Kenmore) بلندن (شكل ٥٨٦) اتجاهـًا مغايراً وذلك بكشف الإنشاء الهيكلي كل دورين . مثل هذه المعالجة قد تؤثر في المقياس والتعبير السليم للمبنى . هذا في حين أن الحوائط الخارجية الحاملة في الإنشاء الهيكلي الصندوقي تعطي واجهات أقل انتظامـًا وارتباطـًا

---

* من أشهر الأمثلة في هذا الاتجاه في الإنشاء بالصلب مبنى المكاتب لهيئة الأمم المتحدة ومبنى ليفر هاوس (Lever House) في نيويورك .

بمعدل ثابت من ناحية توزيع وشكل الفتحات مع إمكانية أقل من ناحية مسطحاتها . وقد استغل ذلك مصممو عمارة هايبوينت السكنية فى هايجيت بلندن للتعبير بمسطح الفتحات المتباينة عما تخدمه من استعمالات (شكل ٥٨٧) . وهنا يلزم توازن المسطحات المصمتة مع المسطحات المفرغة بحيث لا تتأثر قوة السطح الخارجى الحامل . وقد أكد سور الشرفات المقفل طبيعة التعبير المصمت للغلاف الخارجى الفعال .

والمبانى المتعددة الأدوار ذات الأعمدة المشرومية تكسوها واجهات كابولية خالية من الأعمدة ، وهنا تصبح العناصر الإنشائية الثابتة الحاملة للواجهة هى الأسقف المتكررة الأفقية ، وتتجه معالجة الواجهة إلى تأكيد أفقيتها . وقد يكون ذلك بالتغليف الزجاجى الكامل للمسافة بين جميع البلاطات الأفقية . ومن أمثلة هذه المعالجة مصنع شركة بوتس بيور دَرَج (Boots Pure Drug Co.) فى بيستون (Beeston) بإنجلترا (شكلى ٥٨٨ ، ٥٨٩) . كما يمكن تناوب شرائط زجاجية مستمرة مع شرائط صماء مكونة للأسقف وجلسات الشبابيك . وقد عولجت واجهة مصانع ڤان نل (Van Nelle) بروتردام بهولندا على هذا النمط مع عمل الجلسات والفتحات الزجاجية على نفس المستوى (شكل ٥٨٩) . وفى الحالتين تظهر الرءوس المشرومية للأعمدة خلال الزجاج بطريقة منتظمة معبرة عن طبيعة الإنشاء وعن التوزيع الطبيعى للأحمال ، كما تظهر البلاطات المستوية بدون كمرات فى أشكال هندسية بسيطة . ويمكن تأكيد الوحدات الإنشائية وفصلها عن الوحدات الانتفاعية بإبراز الجلسات المستمرة مع البلاطات عن الفتحات الزجاجية .

التكوينات ذات الأسطح الفعالة : الغلاف الخارجى لهذه المنشآت يكون فى نفس الوقت العنصر الإنشائى الفعال ، ووسائل التعبير هنا مباشرة وبسيطة . وعلى المعمارى أن يستغل هذه الأشكال بكشفها من الداخل والخارج كاملة حتى وصول أحمالها إلى الأرض مباشرة أو عن طريق أعمدة مائلة أو رأسية . وهنا تجدر الإشارة إلى مراعاة علاقة هذه الوحدات بالوحدات الأخرى المجاورة بحيث تؤكد إحداهما الأخرى فى تكوين موحد متكامل ، وبحيث لا تعطل الوحدات المجاورة الرسالة التعبيرية للشكل الانسيابى الفعال . بل على العكس تخدمه بصريًّا وقياسيًّا وتعبيريًّا عن طريق التوافق أو التناقض .

وبجانب ذلك يجب أن توجه مجهودات المصمم نحو إظهار طبيعة الغلاف القشرى بالخرسانة من ناحية تأكيد وإظهار سمكه الحقيقى . وفى الأسقف القشرية تشكل الأعصاب المقوية مشكلة معمارية وخاصة إذا ما وضعت على محيط الصدفة القشرية حيث تعطى تعبيراً خاطئًا عن سمكها . والمعماريون المهتمون بالتعبير السليم يميلون إلى إبراز البلاطة القشرية عن الأعصاب المقوية ، وبذلك يظهر السمك

الحقيقى للبلاطة إلى الخارج . وقد اهتم مايار بهذه المعالجة فى تصميمه للصدفة المغطية لصالة الأسمنت فى معرض زيورخ (شكل ١٨٩) . والتأثير العام لمثل هذه المعالجة يعبر أصدق تعبير عن طبيعة السقف القشرى بسمكه البالغ ستة سنتيمترات والمكشوف على الخارج مباشرة . مثل هذا التأثير الناجح نجده فى مطعم ماى وبيكر (May & Baker) بمدينة داجنهام (Dagenham) بإنجلترا (شكل ٣٩٤) ، حيث برزت البلاطات بسمكها الرقيق عن الكمرات المقوية بمستوى الحائط الزجاجى الخارجى . والمعمارى فى أغلب الحالات يميل إلى حذف هذه الكمرات الطرفية حيث إنها فى أغلب أحوالها المعدولة أو المقلوبة ، المرتدة أو الطرفية ، مؤثرة فى الطابع العام للصدفة . وقد أمكن فى أغلب الحالات ، وبخاصة فى الصدفات المزدوجة الانحناء ، حذف هذه الأعصاب واستبدالها بجزء من البلاطة ذى اتجاه مغاير لميل الصدفة العام بحيث يعمل كعصب لها مع احتفاظه بسمك ظاهر يساوى سمك الصدفة ذاتها (شكل ١٩٠) .

ومن الداخل غالباً ما تكون الأسقف القشرية المفردة أو المزدوجة الانحناء غير معبرة عن طبيعتها كصدفات قشرية . فهى ثقيلة ومقبضة داخلياً فى مطعم لوس مانتيالس (Los-Manantiales) بمدينة (Xochimilco) بمكسيكو (شكل ٥٩١) ، مع أن التأثير الخارجى معبر عن طبيعة الإنشاء الخفيف . وفى هذه الحالة يلزم وجود معالجات معمارية للوصول لنفس الشعور فى الدواخل حتى يتم النجاح المعمارى . ومن الوسائل الناجحة فى ذلك تفتيح الصدفات بفتحات انتفاعية فى نفس مستواها للإضاءة والتهوية الطبيعية . هذه الفتحات لكونها فى قلب الصدفة يحسن أن تكون محدودة المساحة وذات محيط دائرى مستمر . فالفتحات المربعة الصغيرة حذفت شعور الثقل بوحدات القطاع الزائدى المكافئ بسقف المخزن المكسيكى الذى صممه المهندس كاندلا (شكل ٥٩٢) . وللتعبير عن الطبيعة الغشائية للصدفة القشرية قد يلجأ المصمم إلى وضع الزجاج مستوياً مع السطح الداخلى للصدفة . ومن الأمثلة على هذا الاستعمال صالة « ك ب . » السابق ذكرها بكوبنهاجن (شكل ٥٢٢) ، وكذلك الفتحات المزججة المنحنية من وحدات أسقف مطار سانت لويس بأمريكا (شكل ٥٢٤) ، والفتحات المركزية المستطيلة فى السقف الدائرى لصالة سوق رويان بفرنسا (شكل ٥٩٣) . وفى هذه الأمثلة أضفى وضع الزجاج مستوياً مع السطح الداخلى للسقف القشرى خفة ورشاقة للإنشاء وتأكيداً لشكله الداخلى الهندسى المنتظم . وقد يتجه المصمم لإظهار السمك الحقيقى للصدفة عن طريق وضع الزجاج على السطح الخارجى للبلاطة كما فى جراجات ستوك ول للاتوبيس بلندن (شكل ٥٩٤) .

والشعور الداخلى بالثقل يصاحب الأسقف القشرية المضلعة والمموجة والمسنمة ، وقد توصل نيرفى

إلى تعبير رشيق قوى لأسقفه المموجة عن طريق الفتحات على جانبى الموجة الخرسانية كما فى قصر الرياضة بروما (شكل ٥٢٧) وصالة المعرض بتورينو (شكل١٠٦) . والمشكلة ذاتها تواجه المصمم بالأسقف المسنمة إذا أنها تظهر من الداخل ثقيلة مقبضة على غير طبيعة تكوينها (شكل١٦٣) . والفتحات المائلة فى أسطحها الجانبية هى الحل الإنشائى والتعبيرى اللازم لمثل هذه الأسقف .

الأسقف القشرية ذات الباكيات المختلفة الارتفاع أو المسننة تهيئ فرصاً ذاتية لإظهار قطاعات الأسقف الرقيقة مما ينتج عنه رشاقة الإحساس الداخلى . وقد استعمل المعمارى ماكس بورجس مجموعات من الأسقف القشرية الرقيقة المختلفة الارتفاعات فى تصميمه لنادى تروبيكانا بهافانا بكوبا (شكل ٥٩٥) .هذا وقد تأكدت عن طريق هذا التكوين رقة الصدفة الخرسانية داخلياً وخارجياً بالأسطح الرأسية المزججة بين الصدفات . وقد اتبع المهندس نفس المعالجة فى نادى نوتيكو بهافانا (شكل ٥٣٠) . كما أكد كاندلا طبيعة الوحدة المشرومية المكون كل منها من أربعة قطاعات زائدية مكافئة عن طريق إمالتها واستغلال الفرق بين الطرفين لعمل فتحات طولية مستمرة لإضاءة مصنع لامكس بمدينة بوينتى دى ڤيجاس بمكسيكو (شكل ٣٧٧) . وقد تأكدت بهذه المعالجة رشاقة وصراحة الأسقف ، الأمر الذى لن يتوافر بالتصاقها الواحدة تلو بالأخرى .

ولاستكمال التعبير الإنشائى للسقف القشرى يلزم مراعاة معالجة المسطحات المحيطة به والمغلفة للفراغ داخله بحيث يتم تأكيد طبيعتها كوحدات غير حاملة ، وبذلك يتم تكامل الرسالة الإنشائية العامة للغلاف الخارجى . وفى حالات الإنشاءات المكشوفة كمظلات الأسواق والمعارض وأمكنة الانتظار لا توجد مثل هذه العلاقات بوجود المنشأ خالياً مستقلا من جميع الجهات . وإذا وجدت بعض القواطيع الانتفاعية فمن الواجب ألا تصل إلى السقف الإنشائى حتى لا تفسد تعبيره المعمارى ، وحتى لا تتداخل مع بقائه كعنصر مستقل فى الفضاء .

وفى أغلب الأحوال تتطلب الاحتياجات الانتفاعية فراغاً مقفلا مع توفير مسطحات زجاجية للإضاءة والتهوية والرؤية وأبواب للدخول والخروج من وإلى الفراغ الداخلى . وكميات المسطحات الشفافة اللازمة لتوفير هذه الاحتياجات تتوقف على وظيفة الفراغ وطبيعة الموقع . وفى الحالات الانتفاعية التى تتطلب أو تسمح بتغليف المسطحات غير الحاملة بأكمها بالزجاج يصبح التأثير العام لما هو حامل وغير حامل مؤكداً وصريحاً عن طريق التناقض الصريح بين الصدفة الخرسانية القشرية وبين الحوائط الزجاجية الشفافة. هنا يصل التعبير الإنشائى لذروته. وهناك أمثلة عديدة اتبعت هذا الحل النقى ومنها سوق تريدول

(Tradwell) بمدينة بورين (Boren) بولاية واشنجطن بأمريكا (شكل٥٩٦)، وصالة الاستقبال بمطار سانت لويس (شكل ٥٢٤)، وكنيسة سان جوزيه أو بريرو بمدينة مونترى بمكسيكو (شكل ٣٦٥) . ومن المهم هنا الملاحظة الدقيقة للنسب الحساسة للأعمدة الحديدية (Mullions) المثبتة للحائط الزجاجى لتلافى احتمالات ظهورها كأعمدة حاملة للسقف، الأمر الذى قد يشوه التأثير للعام ويتداخل مع التعبير الصحيح لطريقة التجميل الواقعية . وقد كان من الممكن حدوث هذا التداخل فى كنيسة لابيوررزما (La Purisma) فى مونترى فى مكسيكو إذا لم يعالج المعمارى العمود الرأسى المتوسط بصالة المدخل بطريقة رمزية كضلع رأسى للصليب (شكل٥٩٧). هذا بالإضافة إلى أن بروز الصدفة إلى الأمام فوق الحائط الزجاجى يساعد على تلافى أى تعبير إنشائى زائف .

وقد تعالج الحوائط الزجاجية داخل تشابيك زخرفية وفى هذا تعبير زخرفى قوى عن طبيعة الحائط غير الحامل خلف أو بين الأعمدة الحاملة . وقد سبقت الإشارة إلى الاستعمال الناجح للتشابيك المزججة فى كنائس بيريه الشهيرة، وغير المزججة فى أعمال أدوارد ستون فى أمريكا وباريس والهند .

وفى أغلب الاستعمالات تتطلب الاحتياجات المعمارية للفراغ وظروف الجو المحيط تغليف الفراغ بحوائط صماء بها فتحات . وهنا يحسن المعالجة التجريدية للفتحات بوضعها تحت الأسقف القشرة مباشرة لعزلها عن الحوائط ولتأكيد الحقيقة الإنشائية وهى استقلال الأسقف عن الحوائط المغلفة . ولزيادة تأكيد ذلك يلجأ المعمارى إلى إبراز الأسقف عن مستوى الفتحات الزجاجية . والأمثلة لهذا الاستعمال عديدة منها المعالجة الناجحة للأقبية ذات الانحناء الواحد بمصانع انفيلد بمقاطعة برنماور بويلز الجنوبية بإنجلترا (شكل ٥٩٨)، وللقباب المزدوجة الانحناء بسوق ستيوارت بمدينة نيوكانن بولاية كنتكت بأمريكا (شكل ٥٩٩) . كما فصل بيريه بالتشابيك الخرسانية العقود الخرسانية عن الحائط المغلف غير الحامل وذلك لتأكيد الطبيعة الإنشائية لكل بمخازن الميناء بمدينة الدار البيضاء بمراكش .

هناك حالات لا يمكن معها المعالجة السابقة تحت ظروف انتفاعية تستوجب إلغاء الفتحات الزجاجية كلية من حائط معين أو من الفراغ جميعه . فى مثل هذه الحالات يجب مراعاة إبعاد خاصية الحمل عن الحوائط تحت الأسقف القشرية، وهذا يتأتى بفصل الأعمدة أو الركائز الحاملة للأسقف عن الحوائط كلية ثم معالجة الأخيرة معالجة معمارية تؤكد صفتها كحائط خفيف مغلف للفراغ . وهنا يحسن إبراز السقف بروزاً مناسباً عن منسوب الحائط مع مراعاة البساطة ما أمكن فى الشكل العام للحائط بدون بروزات أو دخلات مع إعطائها مسطحاً ناعماً مصقولا بألوان خفيفة عن طريق التكسيات الموزايكو

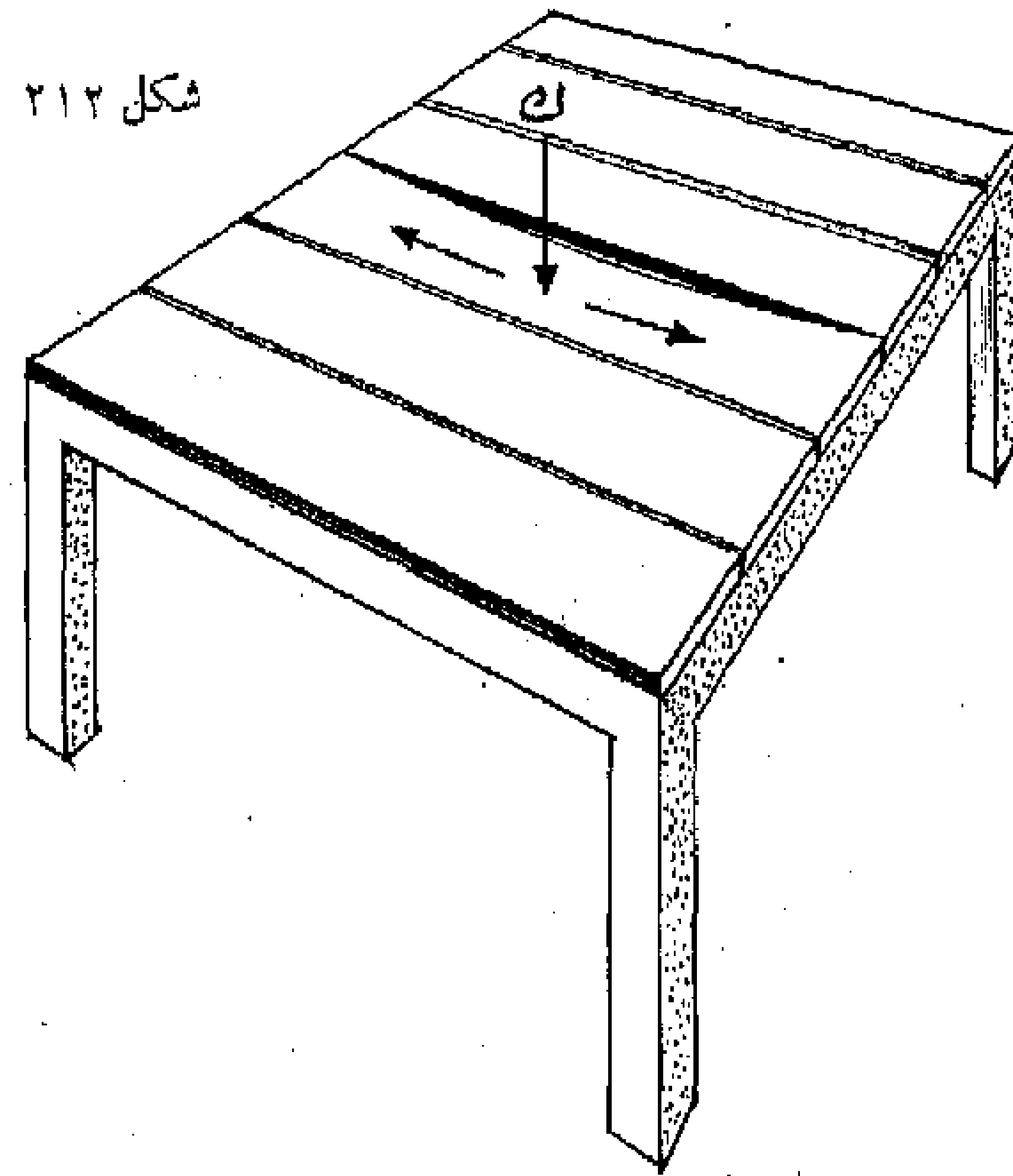
لمزججة مثلا . هذه الطريقة منتشرة فى البرازيل عن طريق البلاطات المنقوشة (أزيوليخوس) لتكسية المسطحات غير الحاملة وهذه تكسبها التعبير الخفيف الهش . ومن استعمالاتها الناجحة لوحة كانديدو بورتينارى (Candido Portinari) التجريدية على الحائط الخارجى لمبنى الجمنازيوم بالمدرسة الابتدائية بشارع كابيتاو فيلكس (Capitao Felix) بحى بدريجولهو (Pedregulho) بريودى جانيرو (شكل ٦٠٠) وقد ساعدت اللوحة على تأكيد التعبير العام للمنشأ . وقد استعمل المهندس نيماير نفس التكسية بطريقة مزدحمة على الواجهة الشرقية لكنيسة القديس فرانسيس (St. Francis) بمدينة بامبولها (Pampulha) بمقاطعة ميناس جيريس (Minas Gerais) بالبرازيل (شكلى ٦٠١، ٦٠٢) . وهنا على عكس الاستعمال السابق ، أضعفت اللوحة من التأثير العام للمنشأ . والواجهة الغربية لهذه الكنيسة أكثر هدوء ووقاراً بأسلحتها الراسية الماثلة . وهناك حلول معمارية أخرى لمعالجة الحوائط المصمتة غير الحاملة للتعبير عن طبيعتها ، منها التكسية بالبياض الناعم أو الرخام أو الحجارة الناعمة ذات العراميس الخفيفة المنتظمة فى خطوط أفقية ورأسية مستمرة تؤكد طابع الحائط غير الحامل . ومن الممكن التكسية ببلوكات خرسانية مزخرفة خفيفة كتعبير فى نفس الاتجاه .

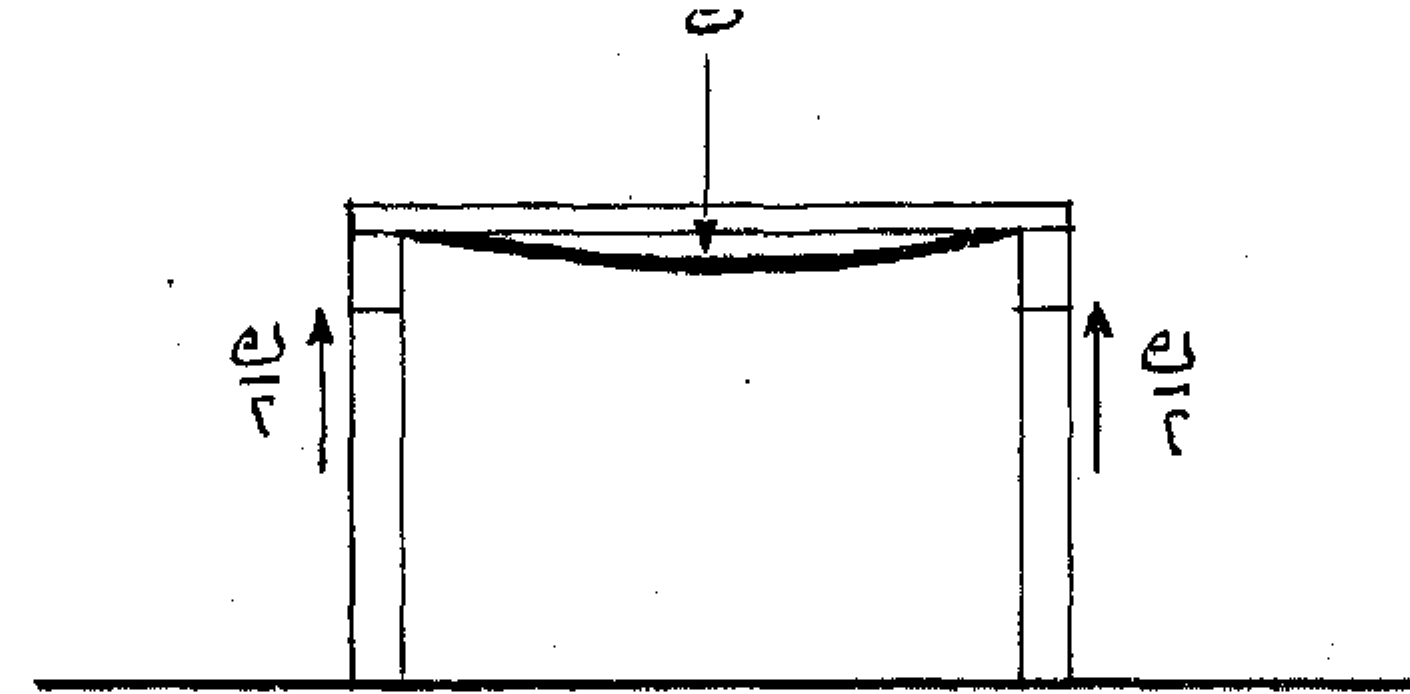
وفى الغالب تحتاج الحوائط غير الحاملة تحت الصدفات القشرية لقوائم لتثبيتها . مثل هذه الأعمدة قد تبلغ قدراً من الضخامة يتداخل مع التعبير السليم للصدفات القشرية وطريقة تحميلها ، وخاصة إذا برزت هذه الأعمدة عن سطح الحائط الداخلى أو الخارجى . وفى هذه الحالة يحسن ألا تصل هذه الأعمدة إلى السقف الخرسانى ، بل الأفضل أن تبرز الأعمدة كابولية من الأساس القوى . وفى حالة ضرورة تثبيت نهايتها فى السقف يفضل عدم تأكيد هذه الأعمدة عن طريق زيادة عددها وتنفيذها مستوية مع الحائط وتكسيه الجميع بطبقة من البياض الفاتح اللون أو أى من التكسيات السابقة. ولكى ندرك أهمية ذلك على التأثير الجمالى النهائى علينا أن نفحص حظيرة الطائرات لشركة لوفتهانزا بمدينة فرانكفورت (١٩٥٩ — ١٩٦١) (شكل ٦٠٣) . فبالرغم من أن السقفين الكابوليين عولجا معالجة إنشائية ناجحة تقارب مثيلتها لشركة الخطوط الجوية العالمية (T.W.A.) فى نيويورك (١٩٥٧) ، إلا أن تأثيرها النهائى فقد جزءاً كبيراً من قوته الخارجية بعد إنهاء الحوائط على الواجهة الأمامية ببلاطات خرسانية خشنة وصلت إلى السقف القشرى الذى غطى من الخارج بكورنيش لا يعبر من ناحية السمك والشكل عن طبيعة السقف الخلفى . وبدلا من أن تفصل الفتحات على هذه الواجهة بين الحائط الجانبى والسقف ، وضعت فى أسفل الحائط مما أضعف التأثير العام للسقف الأمر الذى لم يحدث فى الواجهة

الخلفية المكسوة بأكملها بالزجاج . مثل هذا النقد ينطبق على حظيرة طائرات الخطوط الجوية العالمية فى نيويورك (شكل ٦٠٤) . فبالإضافة إلى ما يمكن أن يقال عن جناح المكاتب الأمامى الذى لا يرتبط بتاتاً بما خلفه ، نجد أن واجهة الحظيرة ذاتها قد أنهاها كورنيش ليس له علاقة من ناحية الشكل بطابع السقف السنمى الكابولى خلفه ، مما أضعف لحد كبير التأثير النهائى للمبنى . هذا فى حين نجح مكتب روبرتز و شيفر فى إبراز الخواص الإنشائية لحظيرتهم ذات الجناحين الكابوليين سابقى الإجهاد وذلك بتأكيد المنشأ على الواجهة مع التعبير السليم عن الحوائط المغلفة . (شكل ٦٠٥) .

الاتجاهات السابقة فى معالجات الأسطح والأشكال والتعبير الخرسانى ليست شاملة أو مقيدة للتصميم المعمارى بالخرسانة المسلحة وهى كاتجاهات عامة صائبة ، وقد دلت التجارب على نجاحها جمالياً . غير أنه سيوجد دائماً المعمارى ذو الخيال الواسع الذى سيذهب بالخرسانة إلى أسطح وأشكال أبعد مما ذكر . كما ستظهر مبادئ فى الوقت والفراغ تبرر طرقاً جديدة للتعبير . وبلاستيكية الخرسانة المسلحة تشجع دائماً على أفكار جديدة مبنية على أسس انتفاعية إنشائية جمالية سليمة . ومن ثم فإن عمارتها الناجحة ستبقى دائماً حية مجددة .

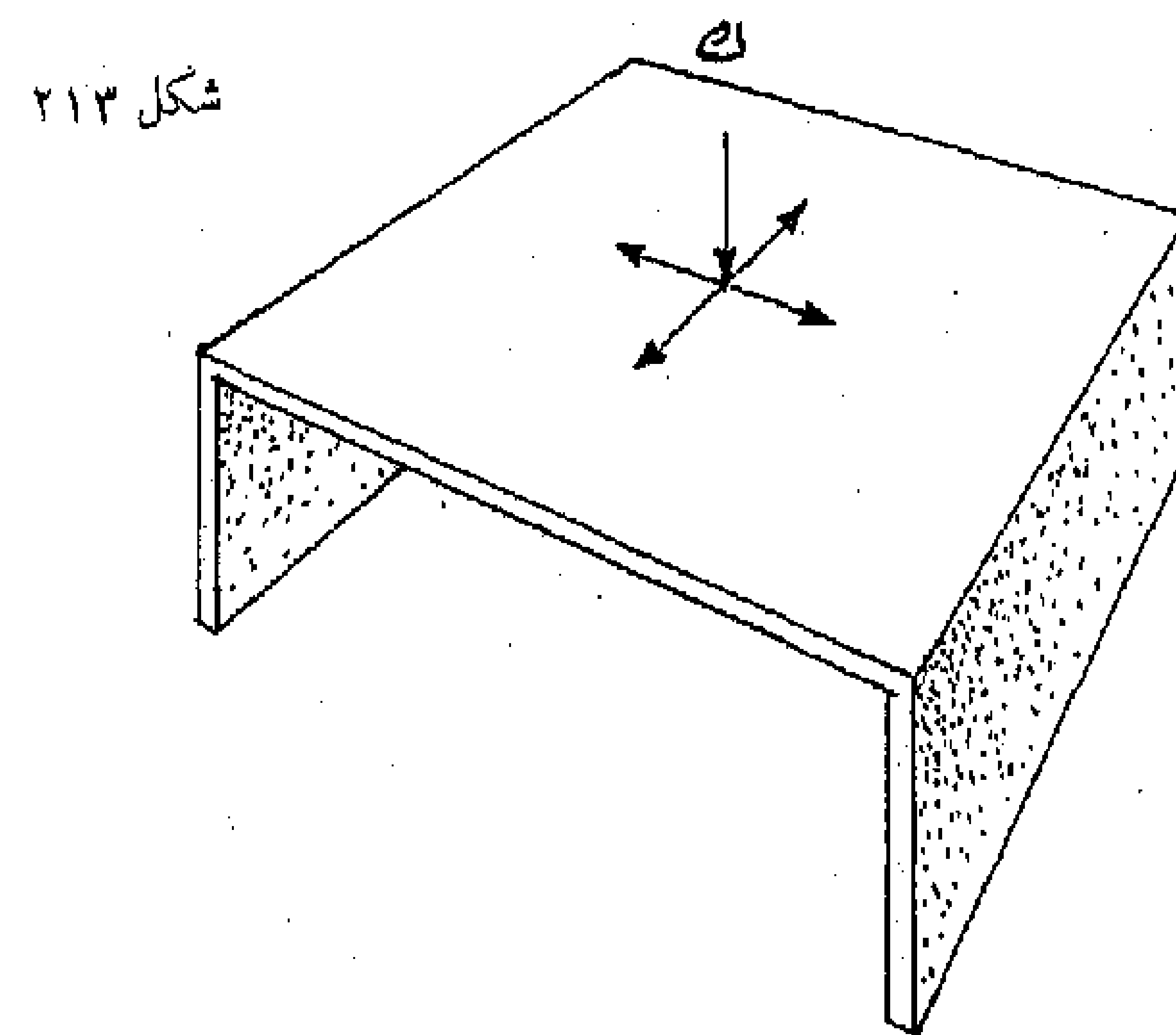
رسومات وصور
الجزء الثاني

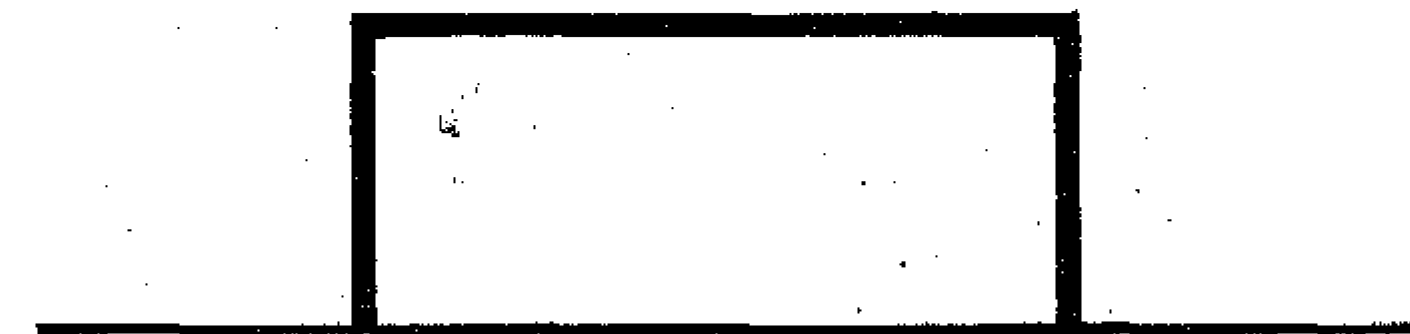


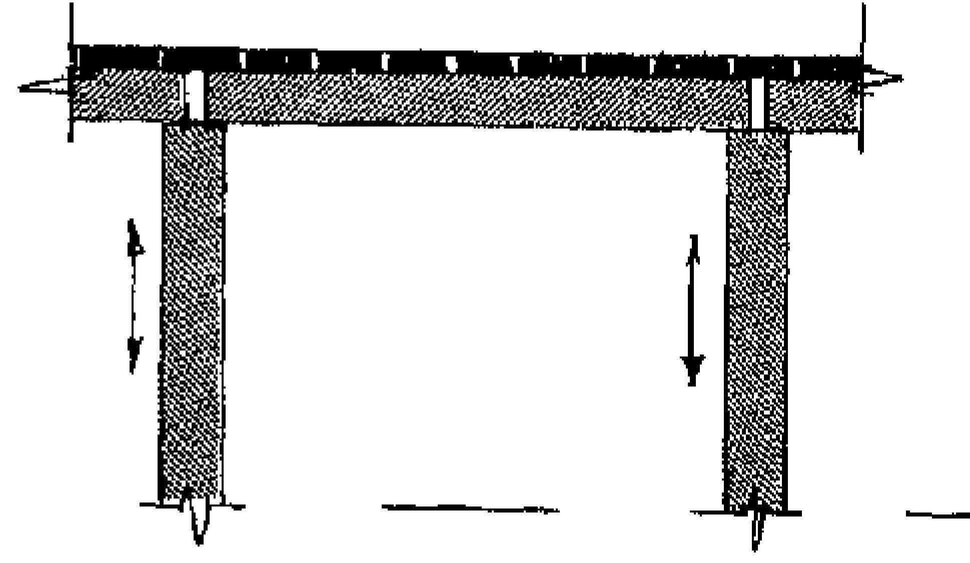


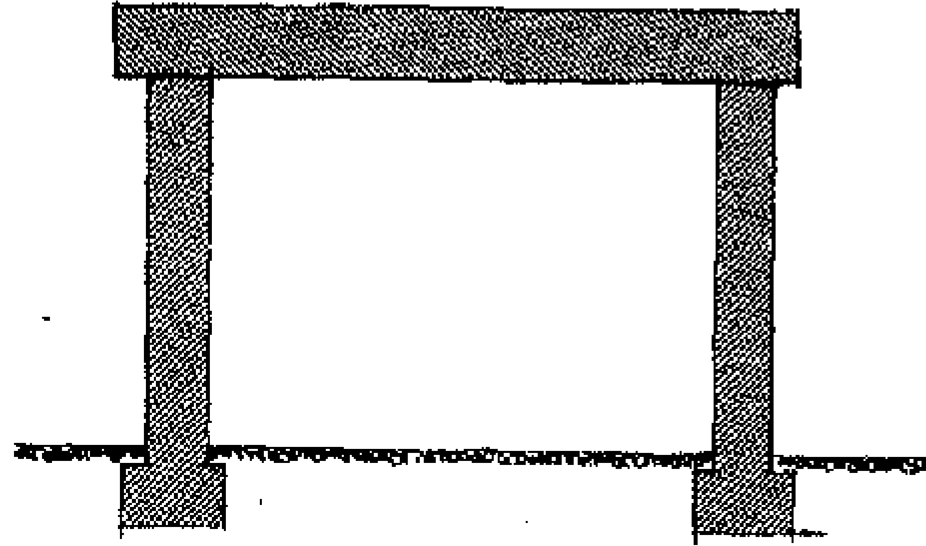
الطرق الإنشائية :

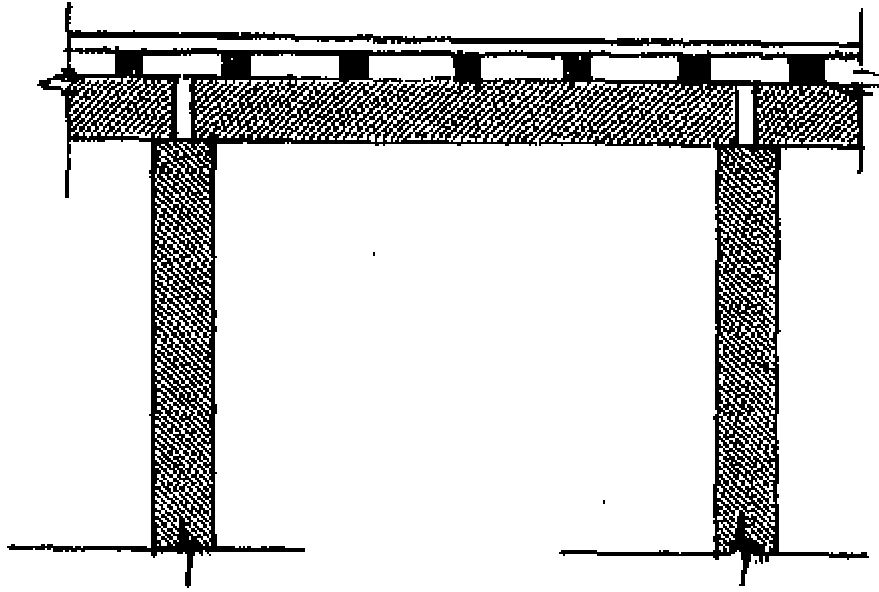
(شكل ٢١٢) الوحدات الخطية ذات الاتجاه الواحد.
(شكل ٢١٣) الوحدات ذات الأسطح الإنشائية الفعالة.

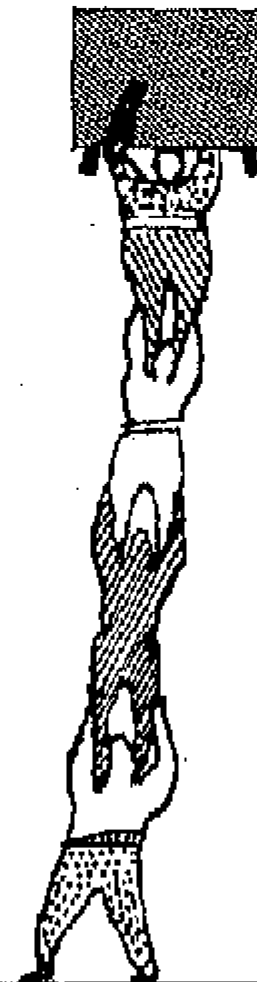


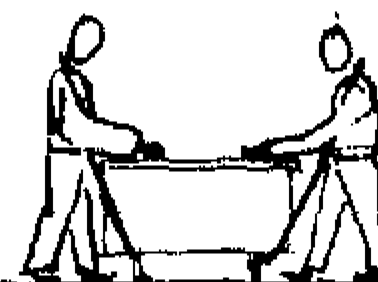



شكل ٢١٥


شكل ٢١٤

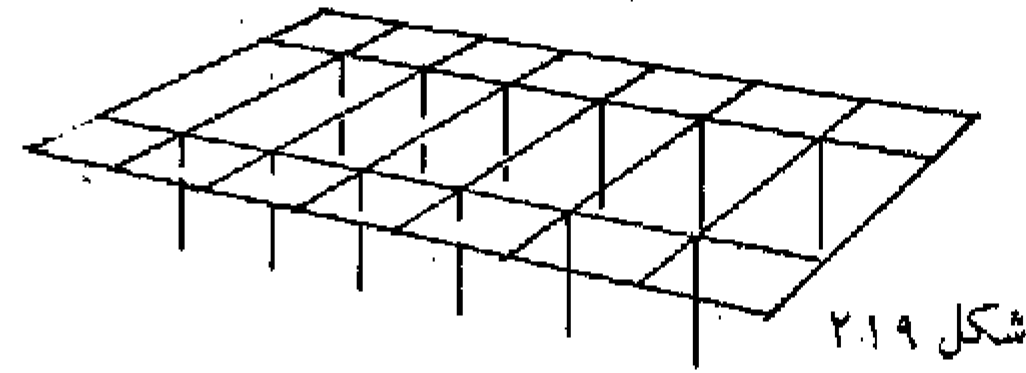

شكل ٢١٦

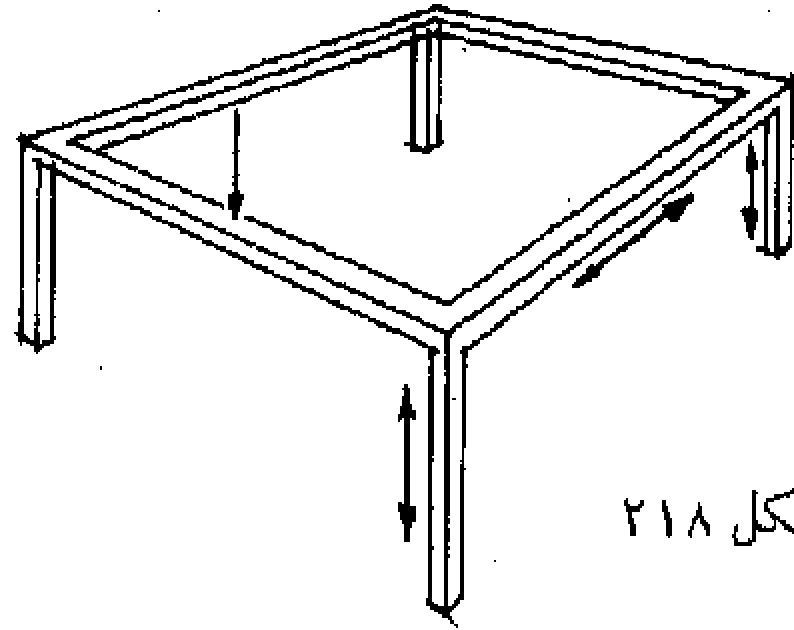


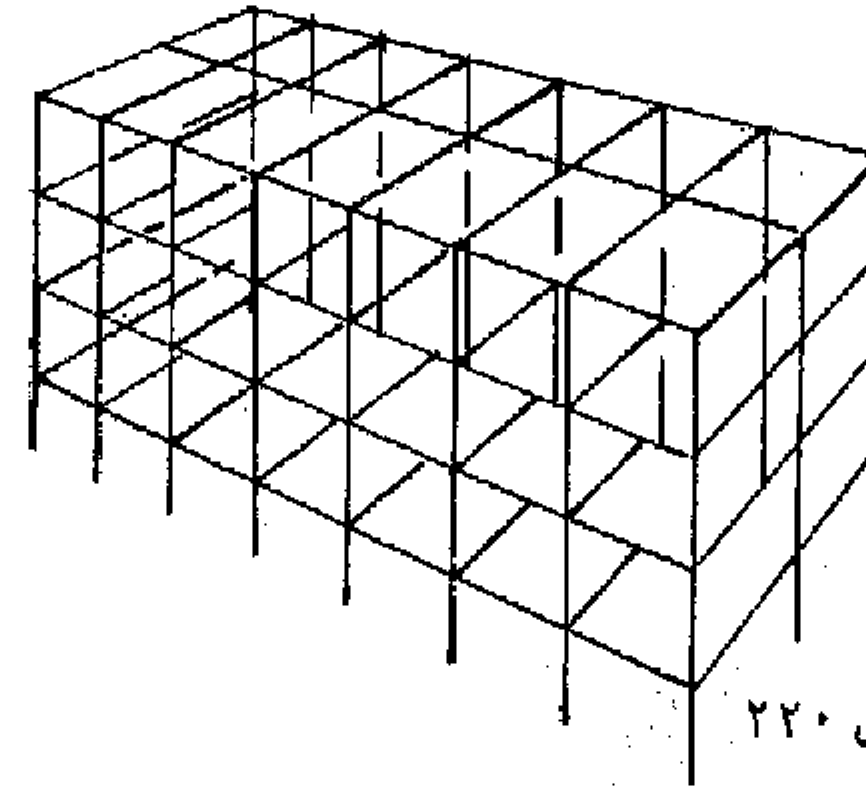

شكل ٢١٧

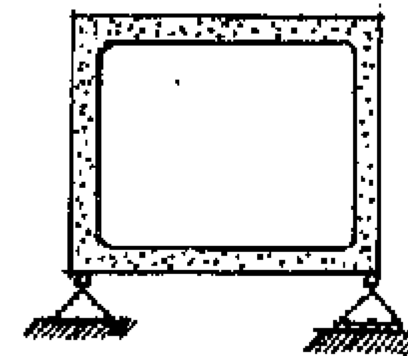
وحدات خطية – الإنشاء بالعمود والعتب

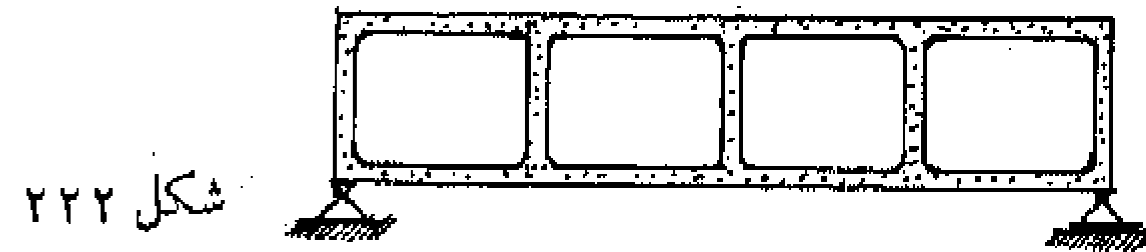
(أشكال من ٢١٤ إلى ٢١٦) الإنشاء بالأعمدة والكمرات الرئيسية والثانوية والبلاطات.
(شكل ٢١٧) مقارنة تشبيهية بين الإنشاء بالعمود والعتب والإنشاء المتماسك المستمر ماديا.


شكل ٢١٩


شكل ٢١٨

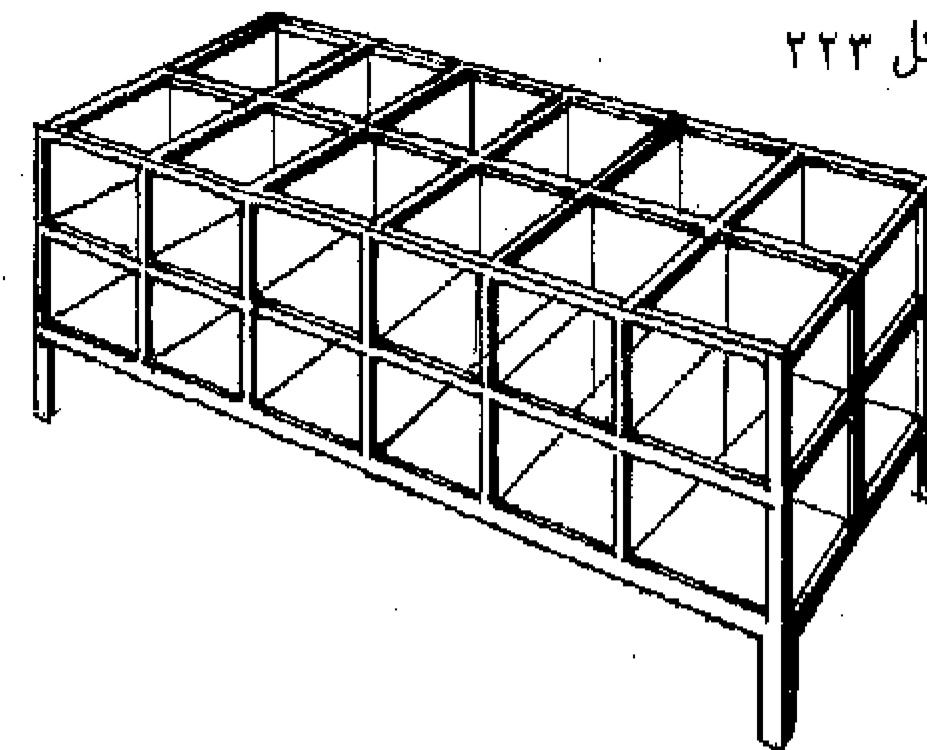

شكل ٢٢٠

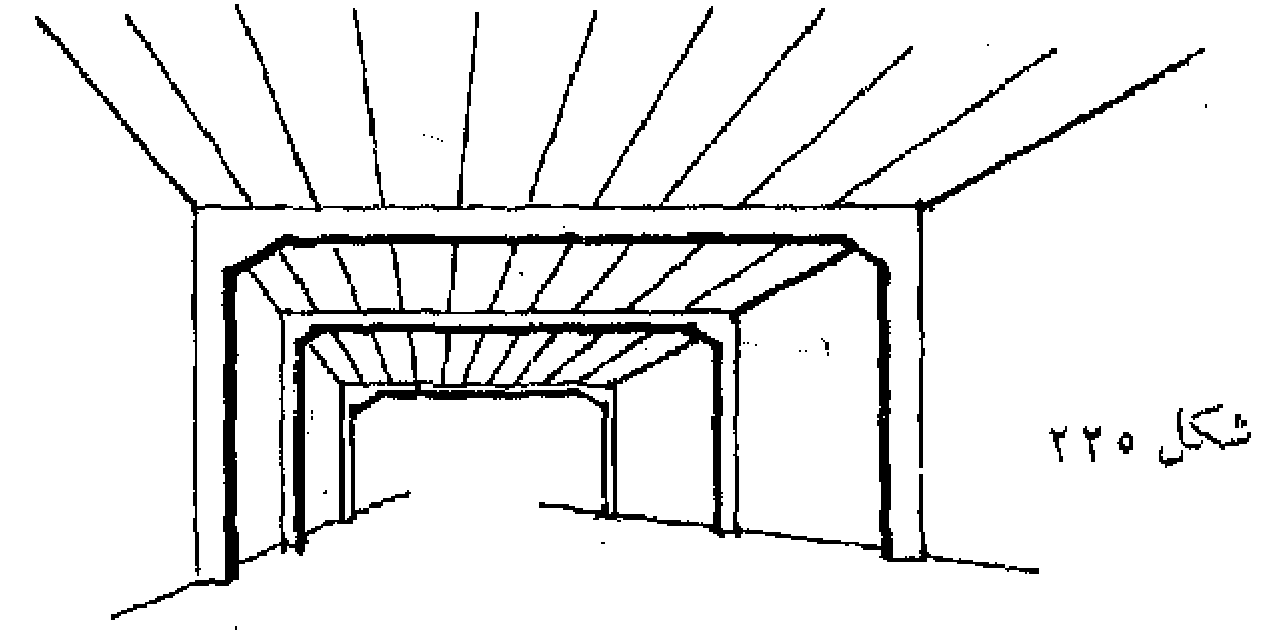

شكل ٢٢١


شكل ٢٢٢

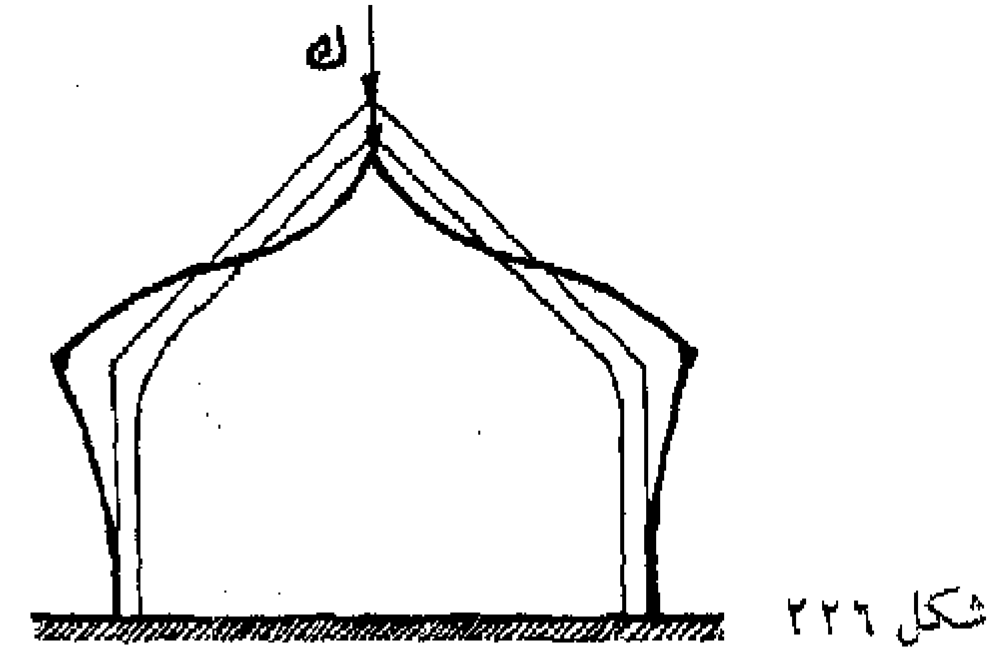
الإنشاء الخطى الهيكلى :

(شكل ٢١٨) الوحدة التكعيبية .
(شكل ٢١٩) هياكل من دور واحد ذات كوابيل .
(شكل ٢٢٠) هياكل متعددة الأدوار .
(شكل ٢٢١) هيكل مفرد مقفل .
(شكل ٢٢٢) هيكل مقفل جمالون ڤيرنديل
(شكل ٢٢٣) جمالون ڤيرنديل من عدة أدوار .

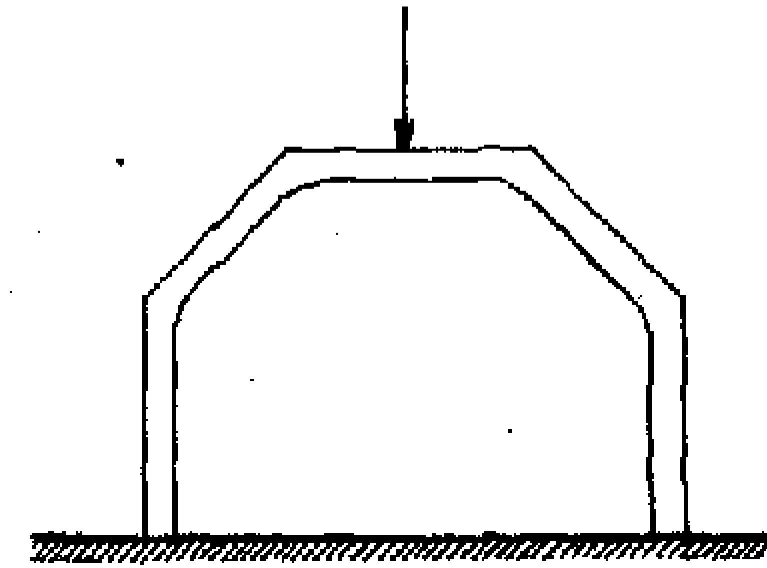

شكل ٢٢٣



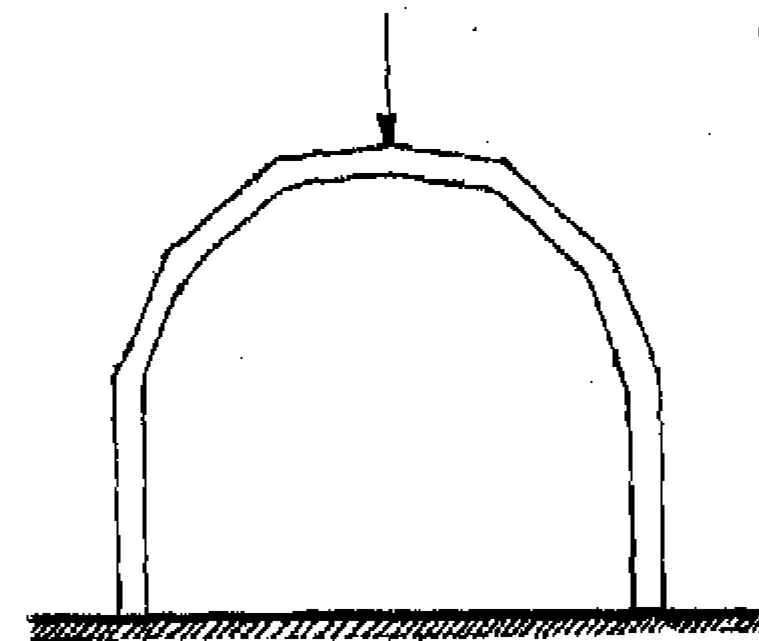
شكل ٢٢٥

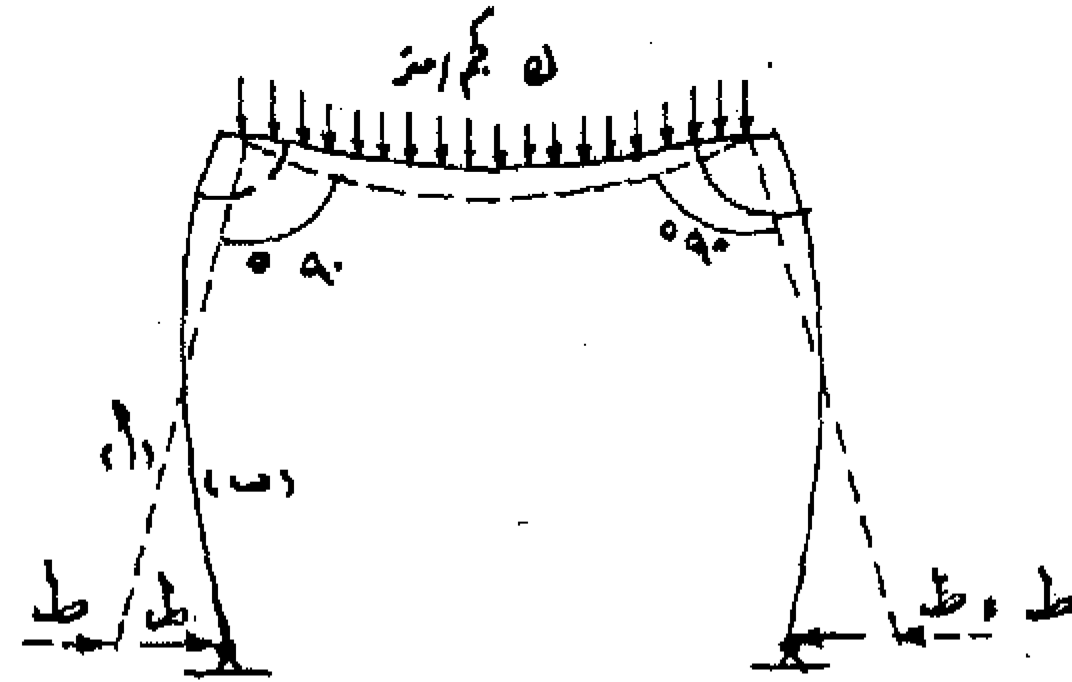


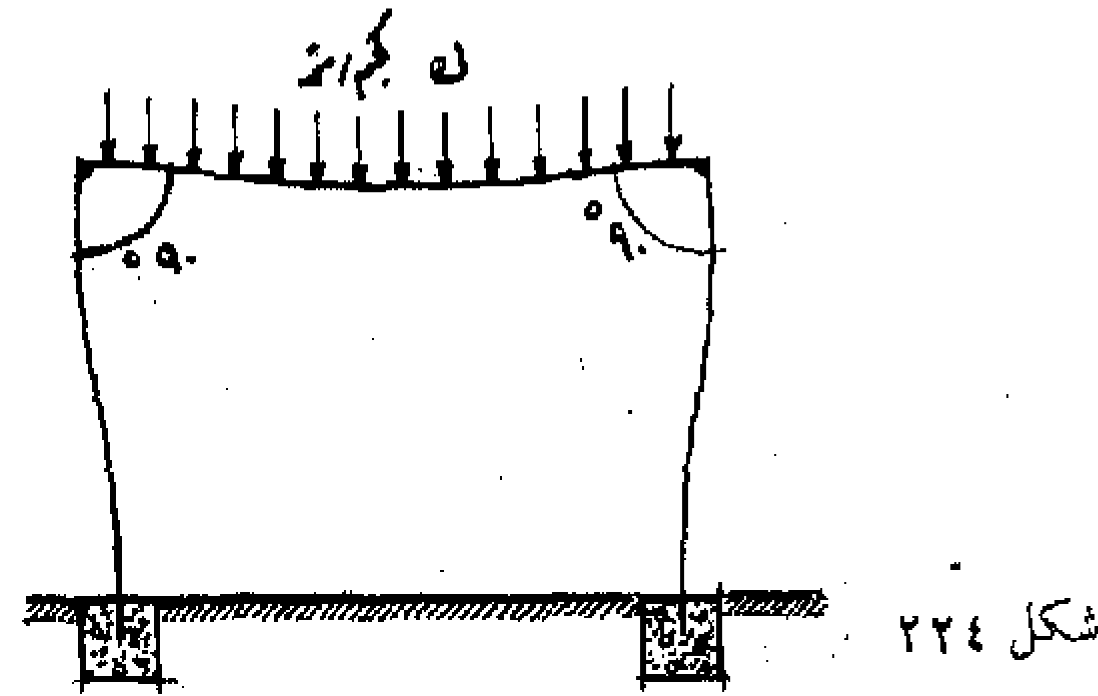
شكل ٢٢٦



شكل ٢٢٧







شكل ٢٢٤

الإنشاء الهيكلي للبحور الواسعة

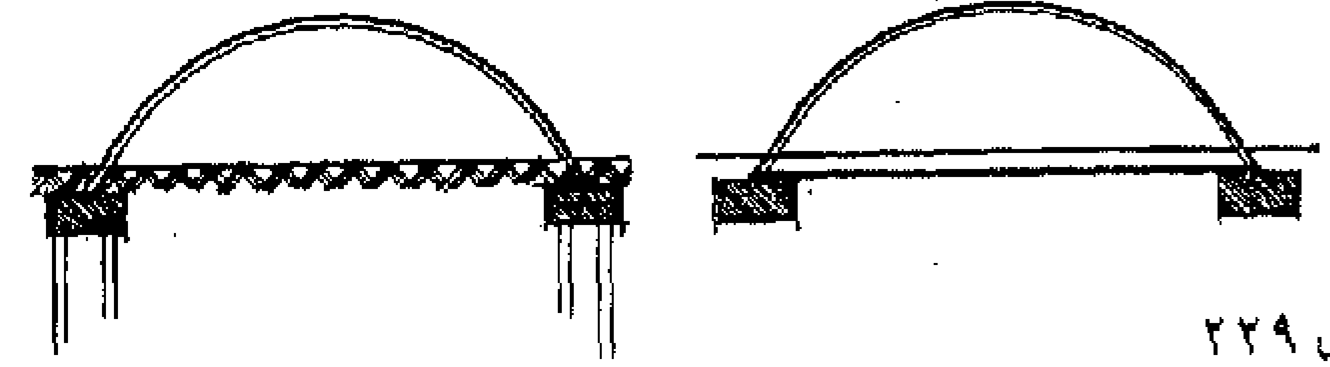
(شكل ٢٢٤) هيكل مستمر ماديا تحت حمل موزع على الجزء الأفقي .

(شكل ٢٢٥) هيكل متكرر على باكيات بسقف أفقي .

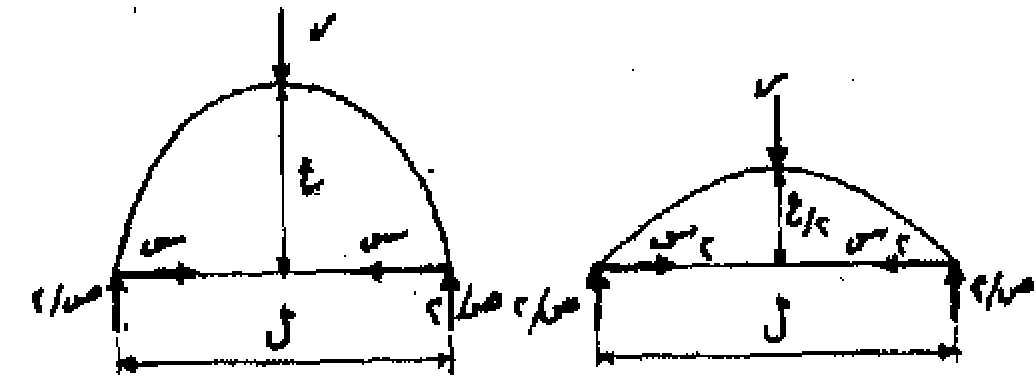
(شكل ٢٢٦) هيكل مستمر تحت حمل رأسي يتولد فيه إجهادات انضغاط وانحناء .

(شكل ٢٢٧) ازدياد في إجهادات الانضغاط وصغر إجهادات الانحناء مع أزدياد أضلاع الهيكل .

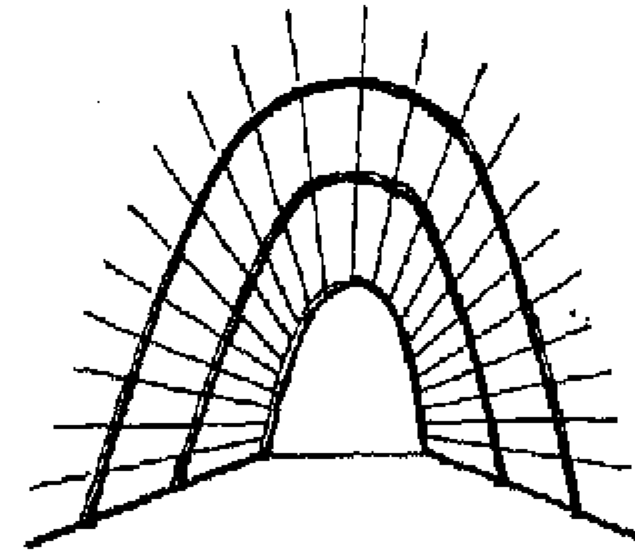




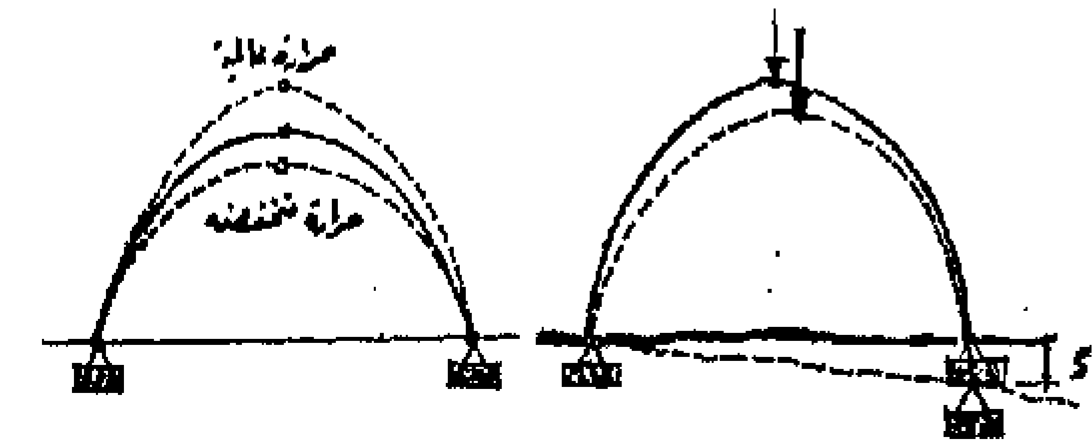
شكل ٢٢٩



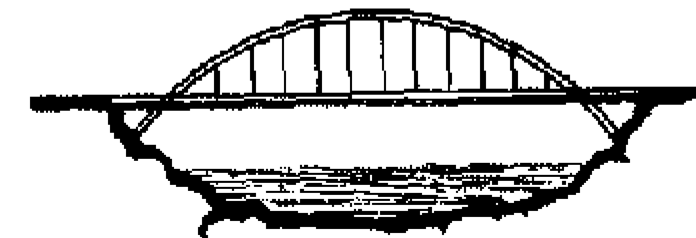
شكل ٢٣٠

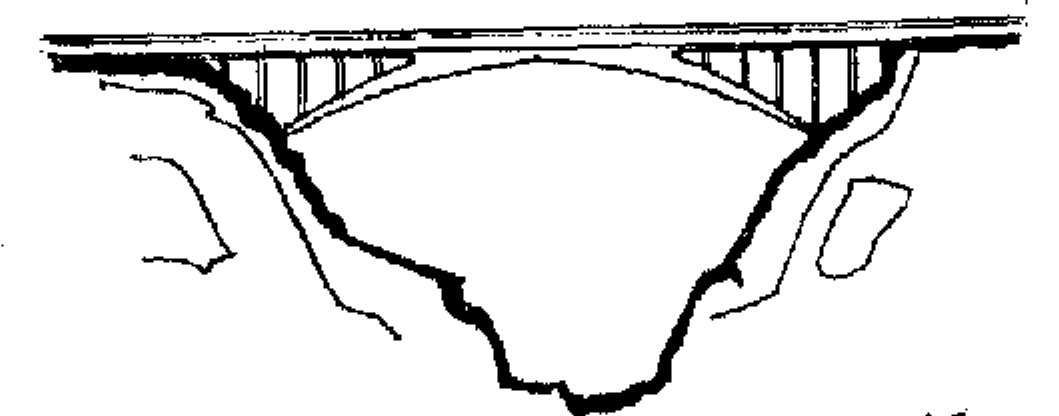


شكل ٢٢٨



شكل ٢٣١





شكل ٢٣٢

الإنشاء الهيكلي بالعقود المنحنية

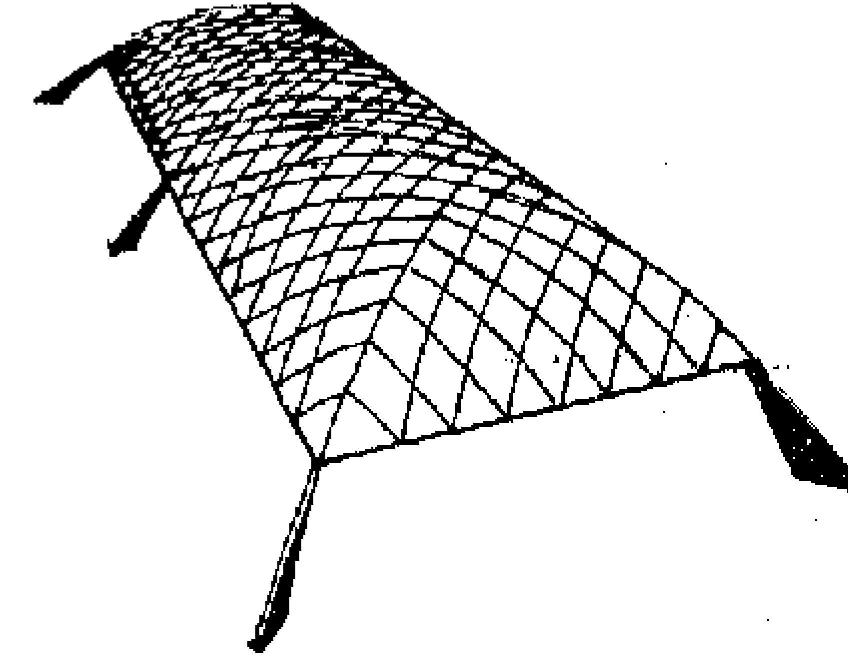
(شكل ٢٢٨) العقود المنحنية على شكل مضلع القوى للأحمال الميتة.

(شكل ٢٢٩) طرق مقاومة قوى الطرد فى أنواع مختلفة من التربة.

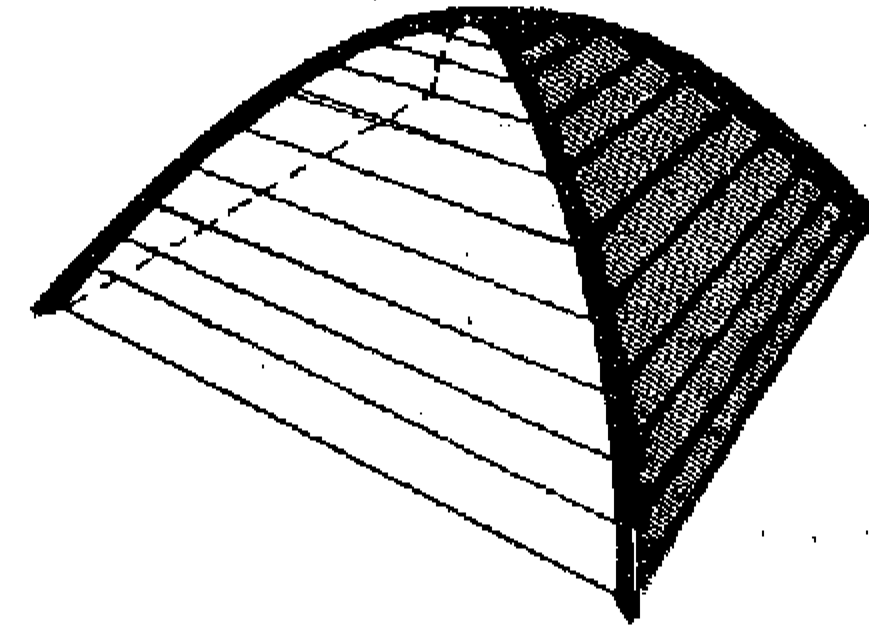
(شكل ٢٣٠) علاقة قوى الطرد بارتفاع العقد.

(شكل ٢٣١) حرية حركة العقود ثلاثية المفصلات نتيجة لاختلاف درجات الحرارة وتباين هبوط التربية.

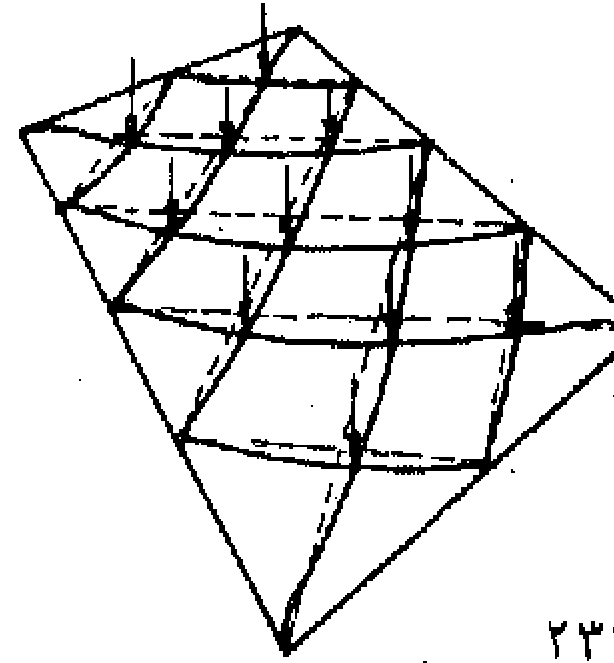
(شكل ٢٣٢) العقد الخطى فى كوبرى، الطريق محمل على العقد بوحدات انضغاط أو وحدات شد.



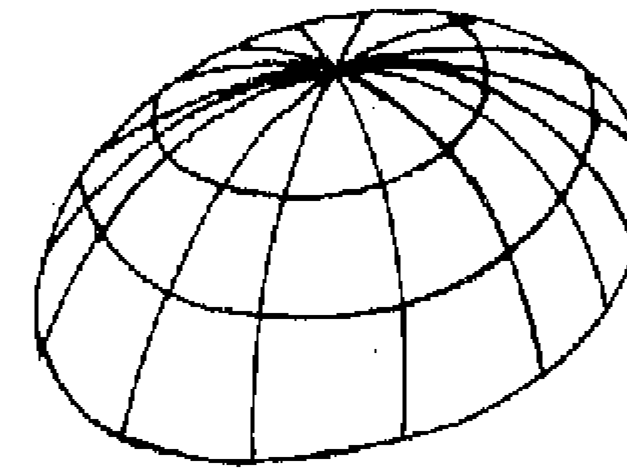
شكل ٢٣٤



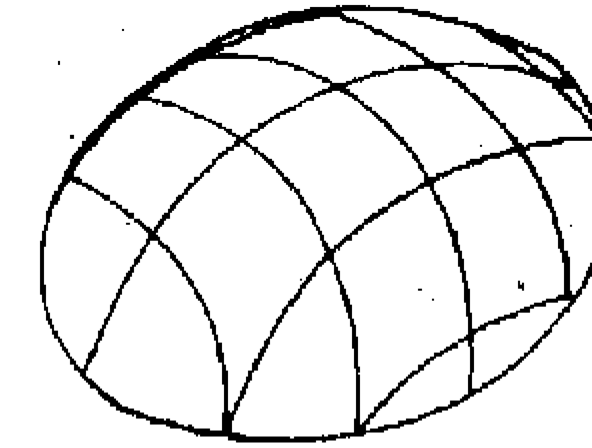
شكل ٢٣٥



شكل ٢٣٣



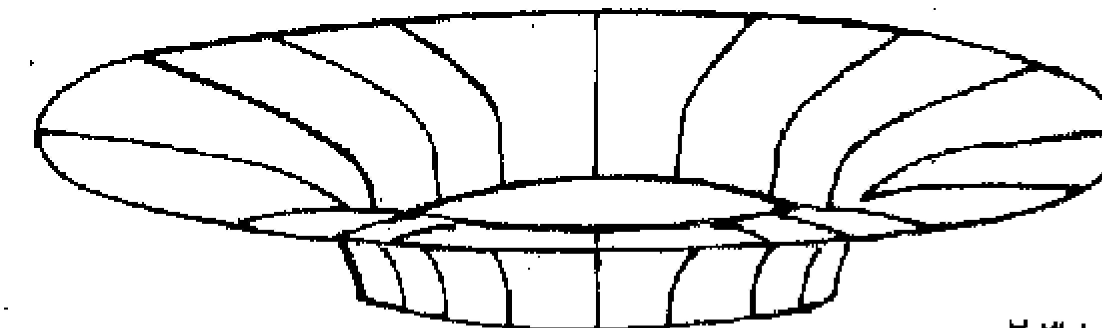
شكل ٢٣٦



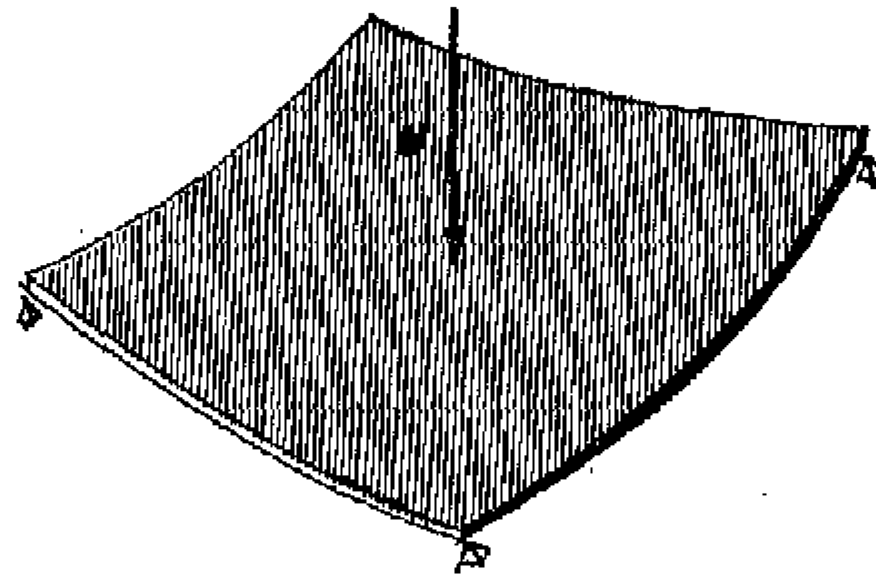
شكل ٢٣٧

الإنشاء الهيكلى بالوحدات الخطية المتقاطعة

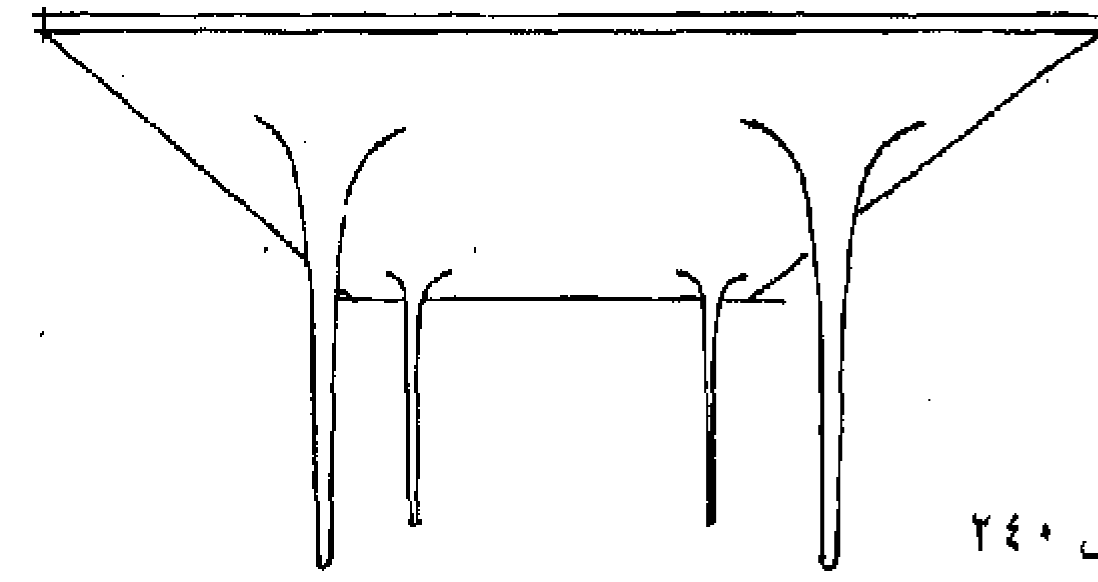
(شكل ٢٣٣) سقف أفقى بكمرات متقاطعة .
(شكل ٢٣٤) سقف أسطوانى بعقود متقاطعة.
(شكل ٢٣٥) سقف محمل على عقدين على محاور المستطيل أو المربع .
(شكل ٢٣٦) قبة منطاة بعقود مركزية .
(شكل ٢٣٧) قبة بمجموعتين من العقود المتوازية .
(شكل ٢٣٨) سقف على شكل زهرة أكليل الصباح .



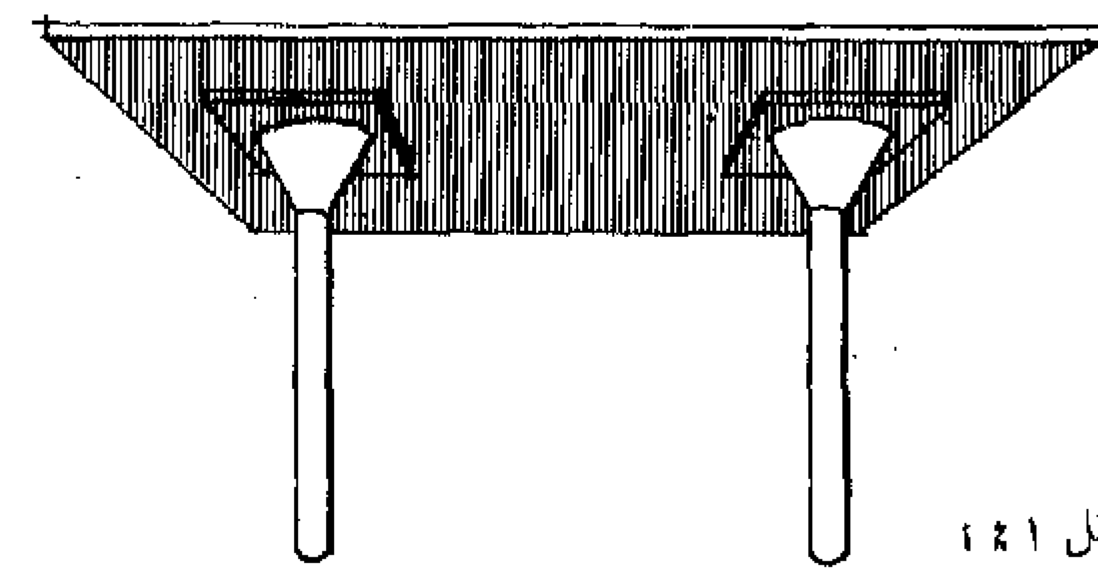
شكل ٢٣٨



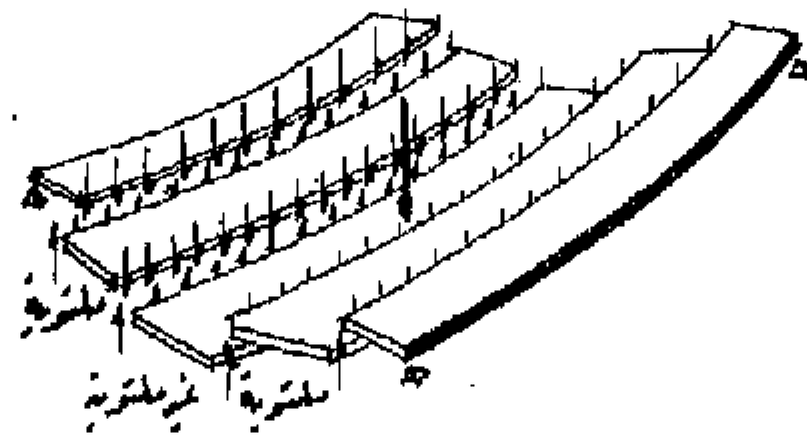
شكل ٢٣٩

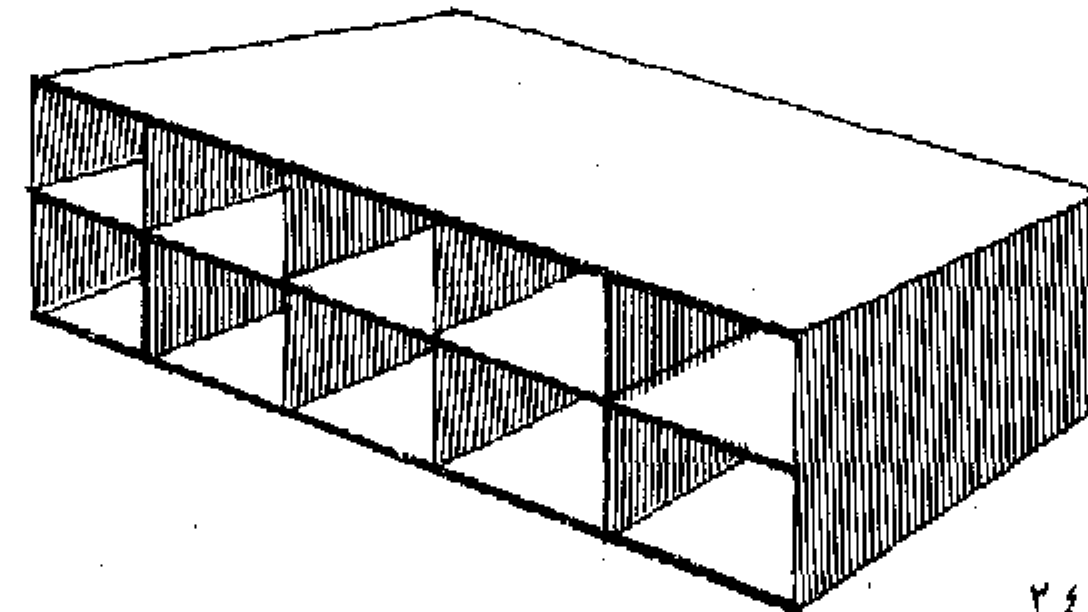


شكل ٢٤٠

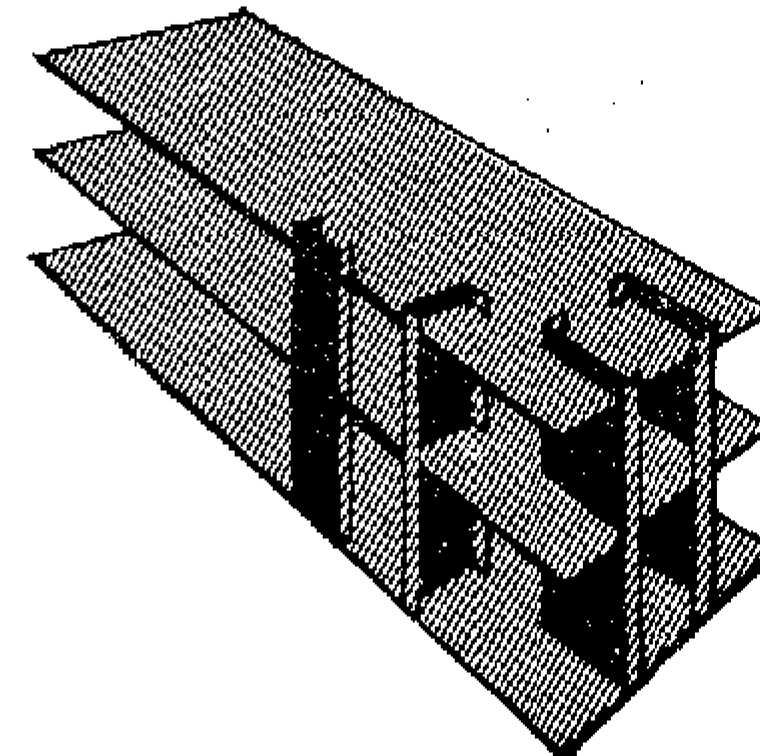


شكل ٢٤١





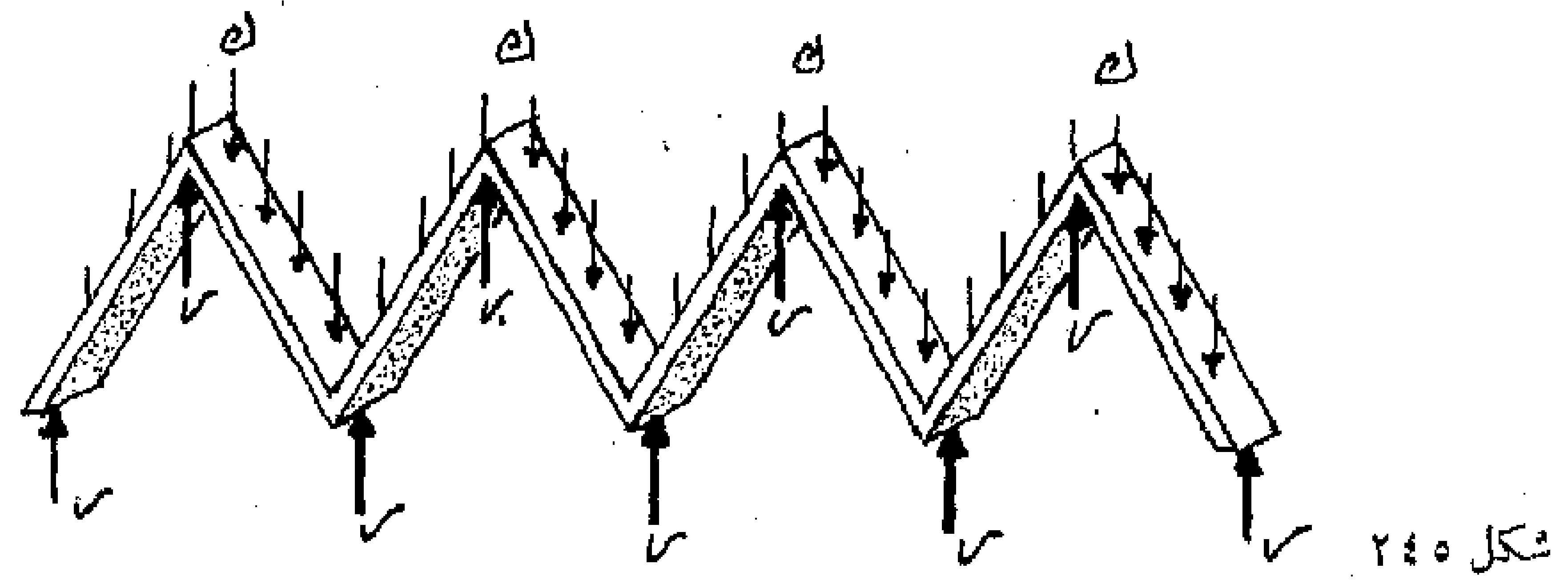
شكل ٢٤٢

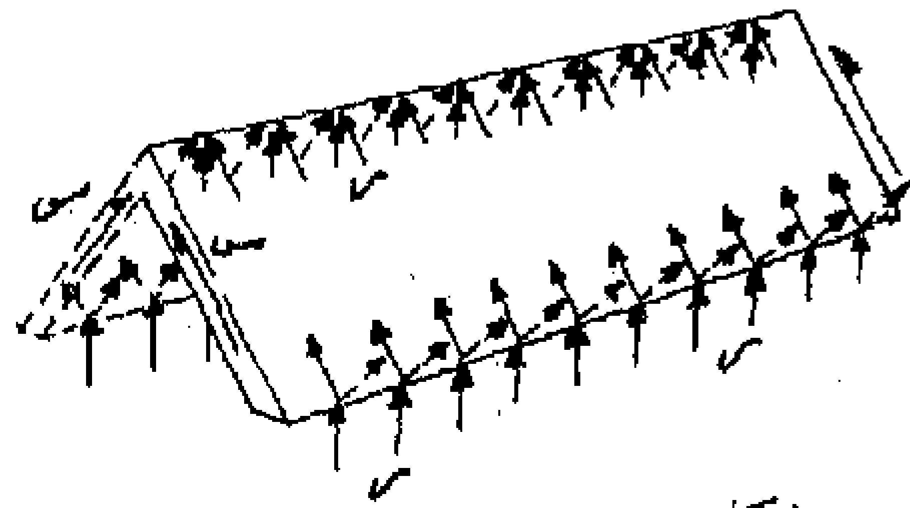


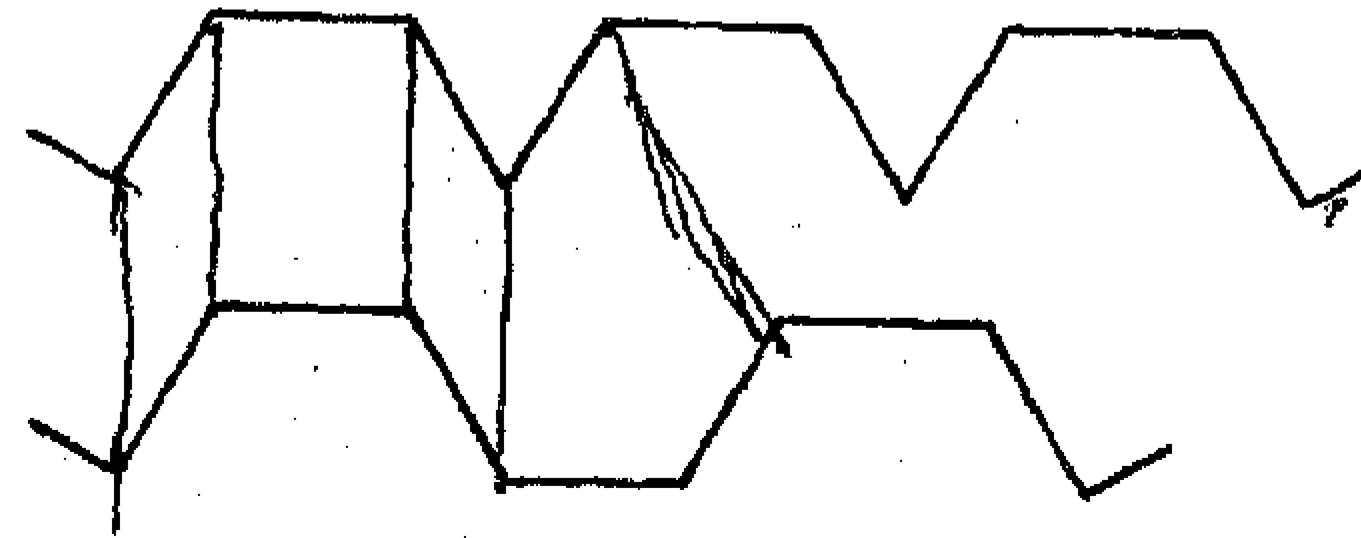
شكل ٢٤٣

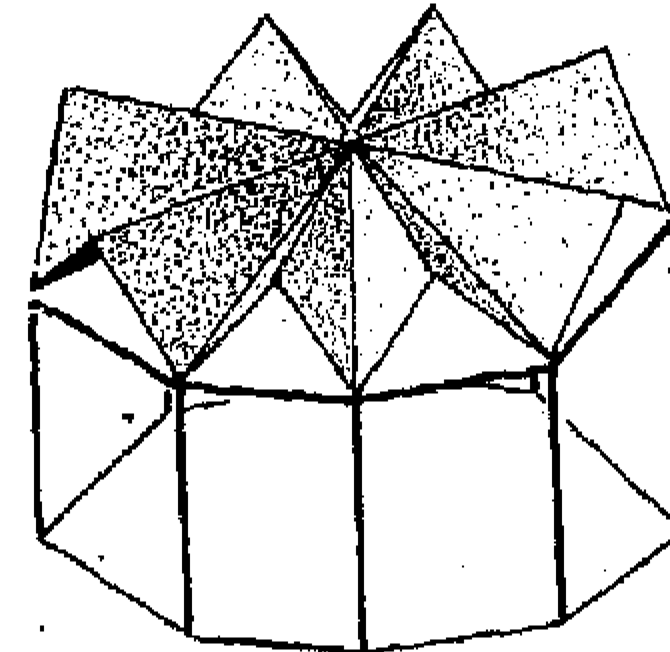
الإنشاء بالأسطح الفعالة

(شكل ٢٣٩) بلاطة فعالة .
(شكل ٢٤٠) بلاطة فعالة محملة على أعمدة مشرومية .
(شكل ٢٤١) بلاطة فعالة محملة على أعمدة مشرومية ببانوهات ساقطة .
(شكل ٢٤٢) هيكل صندوقي متعدد الأدوار .
(شكل ٢٤٣) الإنشاء ذو الخلايا .

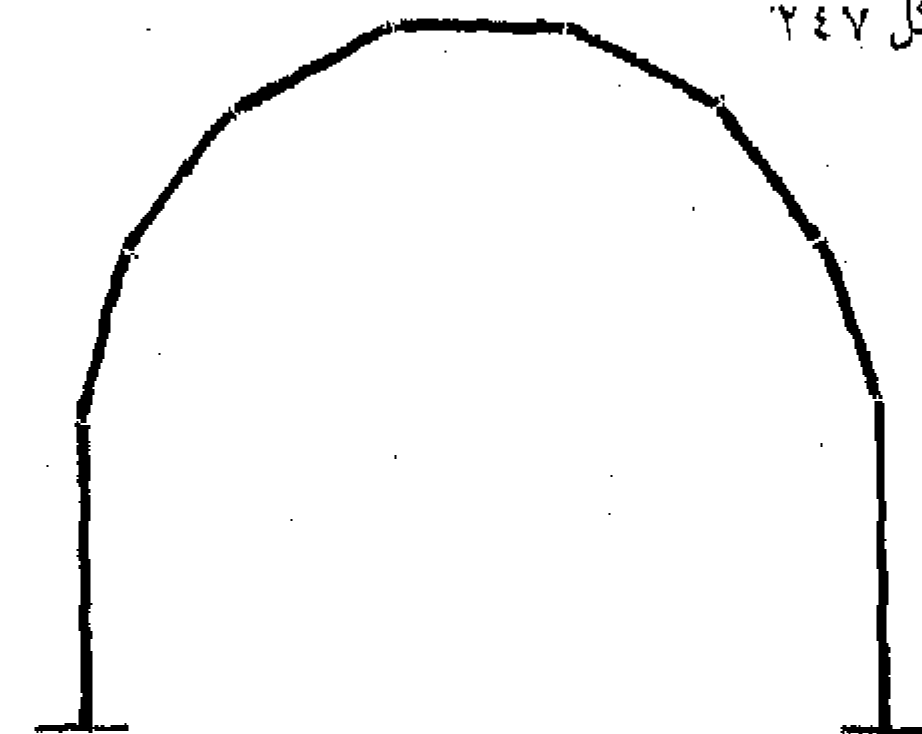

شكل ٢٤٥


شكل ٢٤٤


شكل ٢٤٦


شكل ٢٤٨

شكل ٢٤٧



الإنشاء بالأسطح الفعالة المنطبقة

(شكل ٢٤٤) البلاطة المنطبقة ككمرة طولية.

(شكل ٢٤٥) الباكيات المنطبقة ككمرات عرضية مستمرة.

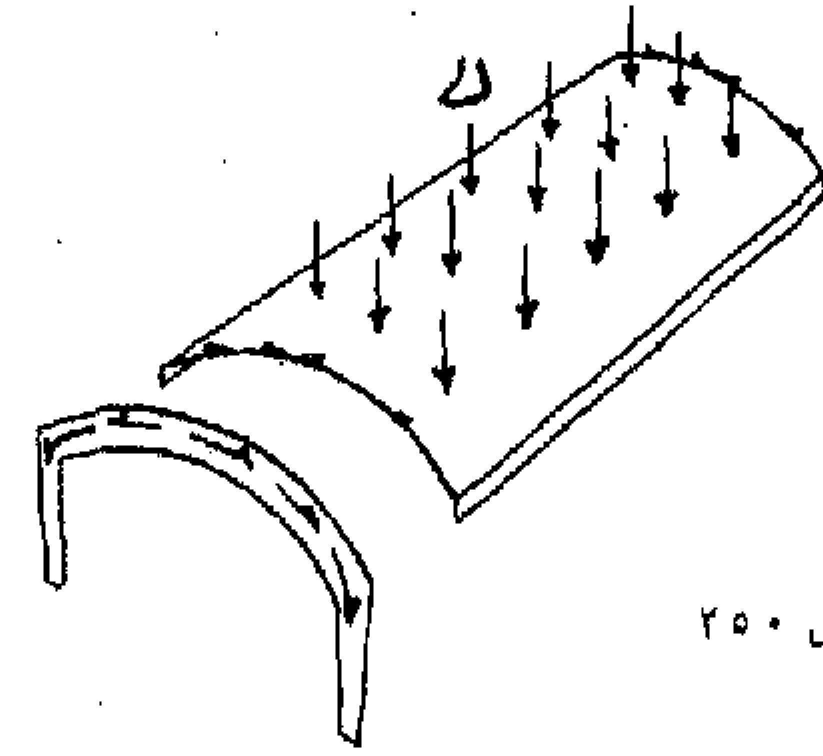
(شكل ٢٤٦) قطاعات مسنمة للبلاطات المنطبقة.

(شكل ٢٤٧) قبو أسطوانى من بلاطات منطبقة متعددة الأضلاع.

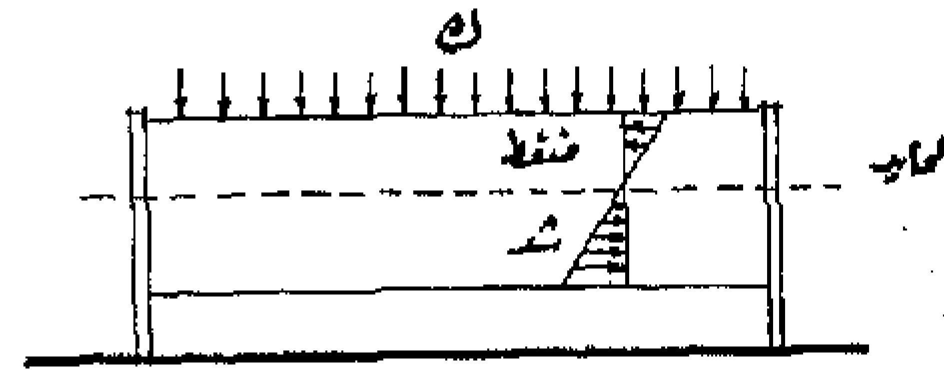
(شكل ٢٤٨) بلاطات منطبقة لتغطية مساقط متعددة الأضلاع.

وحدات قشرية مفردة الانحناء

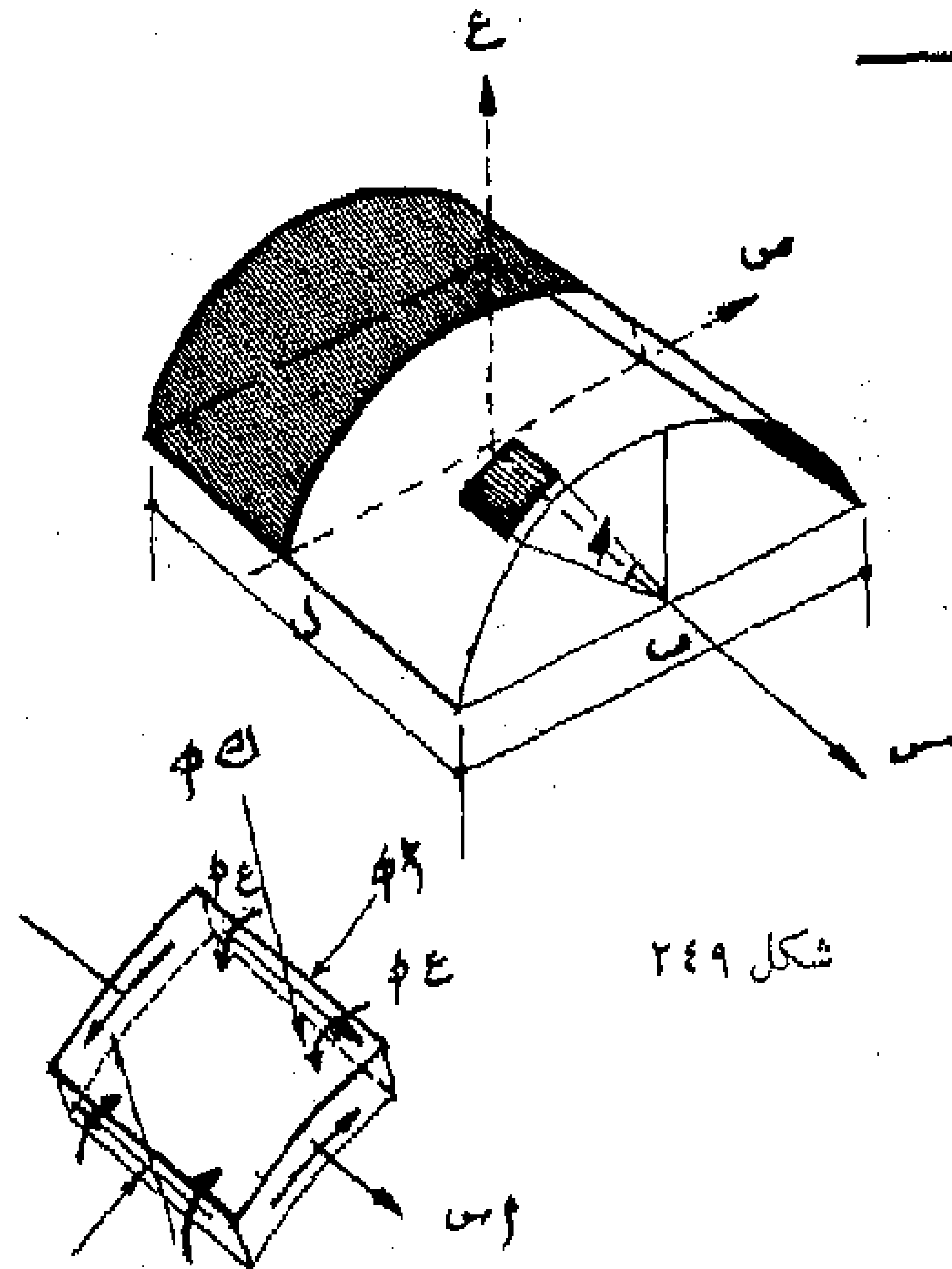
(شكل ٢٤٩) قبوات صدفية مفردة الانحناء.
(شكل ٢٥٠) قبوات صدفية طويلة محملة على هياكل طرفية .
(شكل ٢٥١) القبو الطويل ككمرة محملة على هياكل طرفية- الإجهادات الطولية .
(شكل ٢٥٢) القبو القصير - طريقة عمله الإجهادات الطولية به .
(شكل ٢٥٣) إجهادات الانحناء فى القبوات الطويلة والقصيرة .



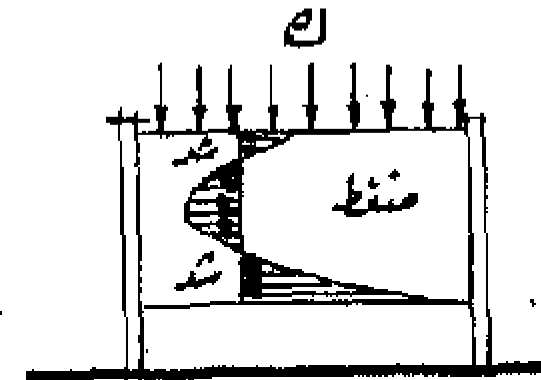
شكل ٢٥٠

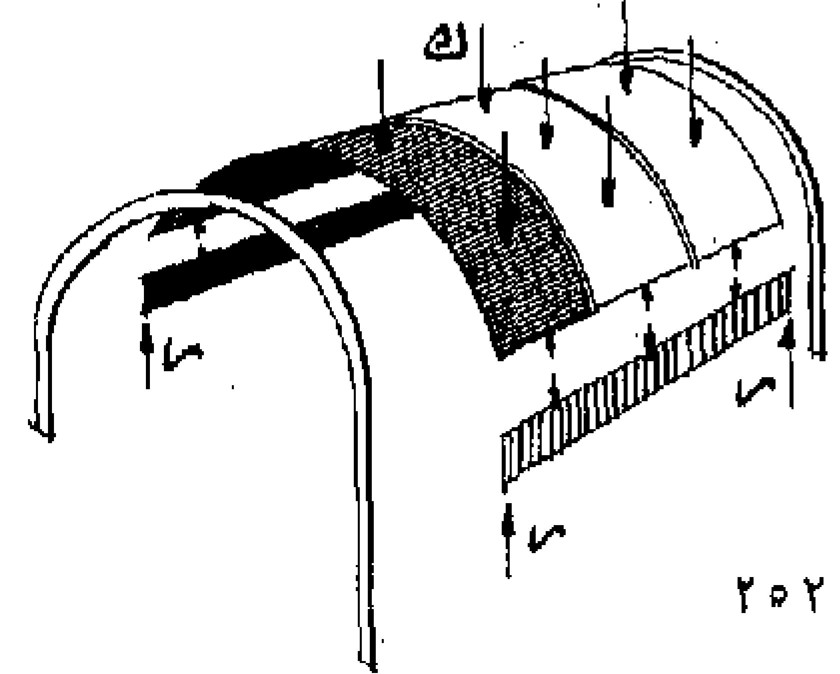


شكل ٢٥١

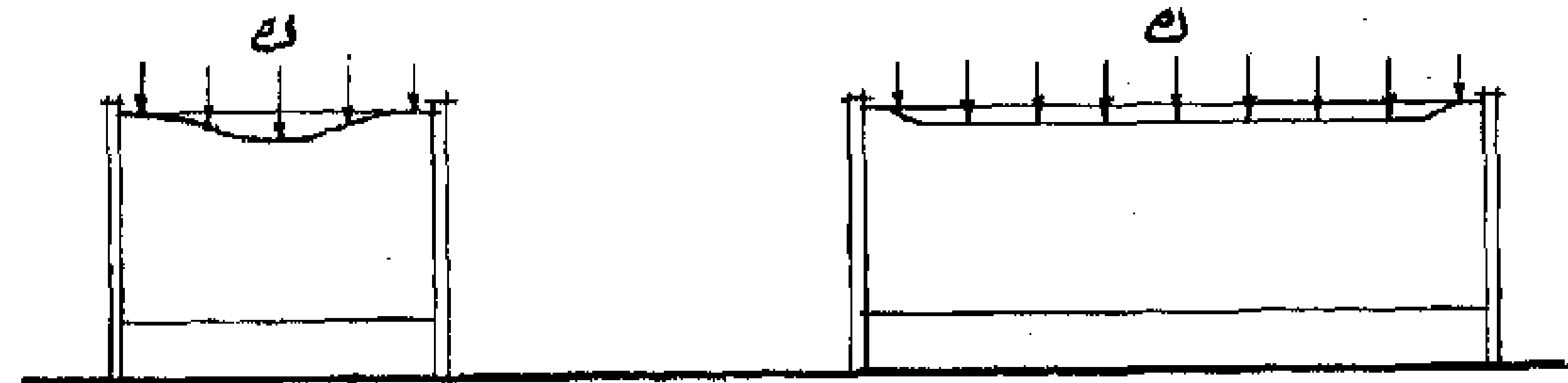


شكل ٢٤٩

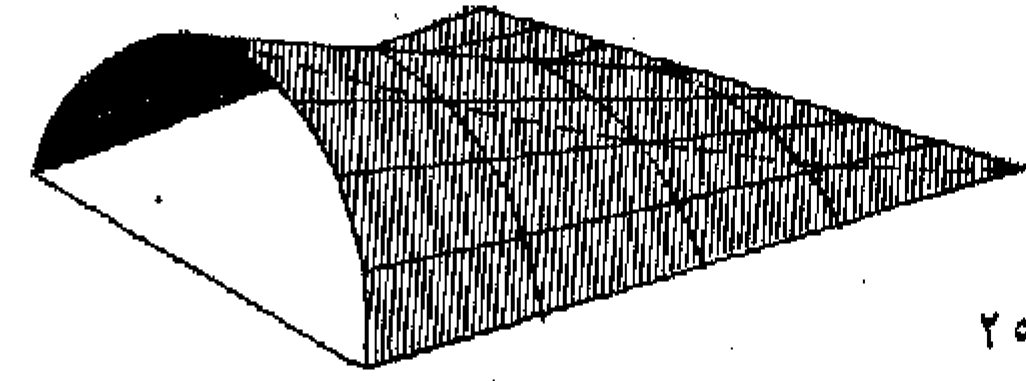


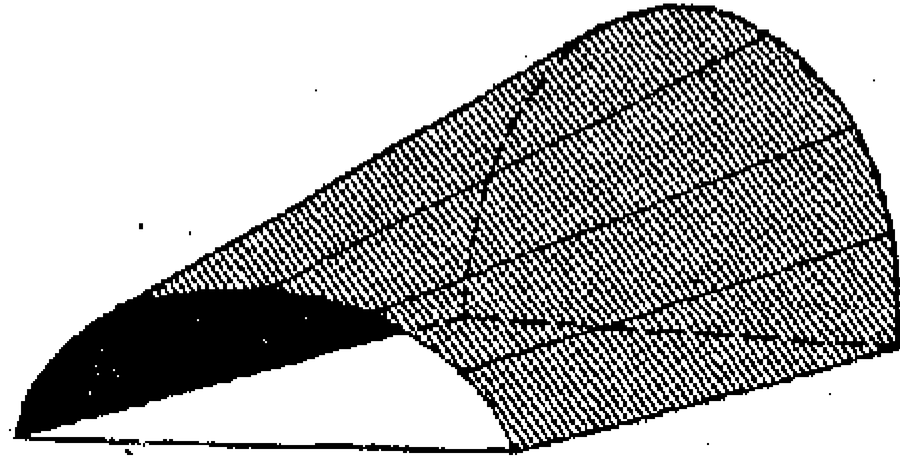


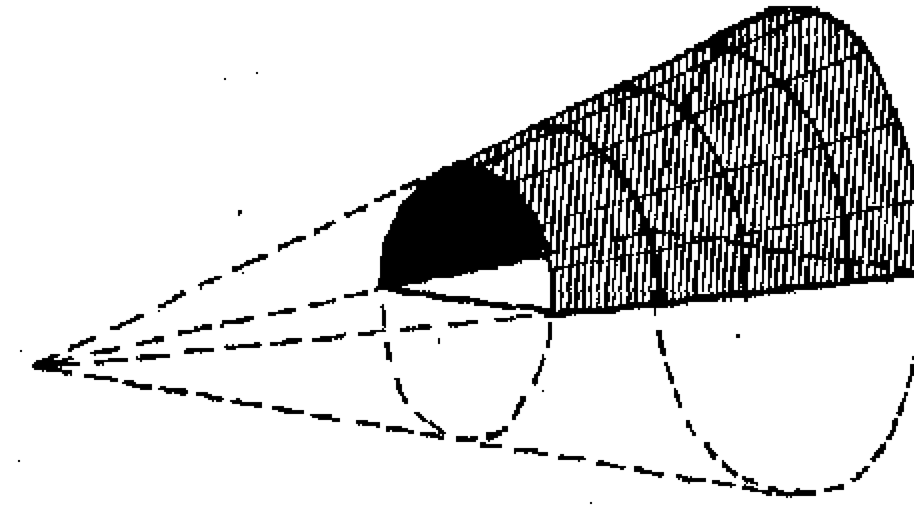
شكل ٢٥٢

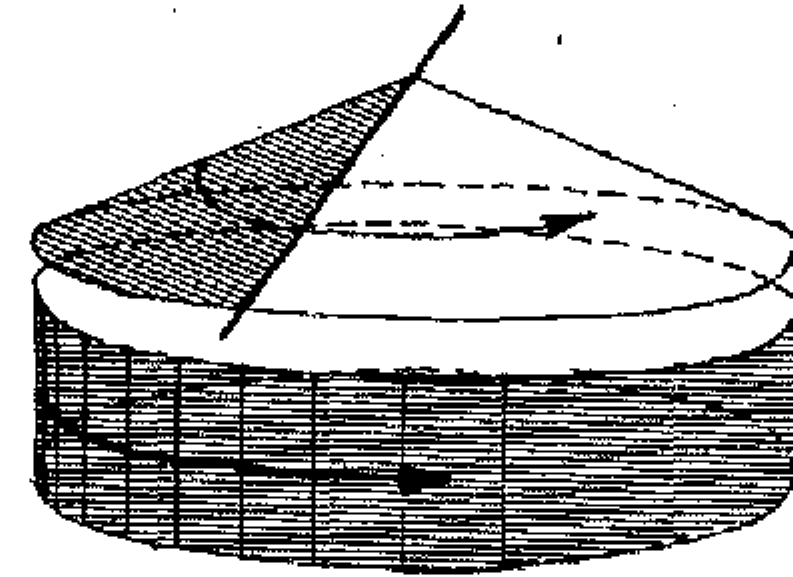


شكل ٢٥٣


شكل ٢٥٥

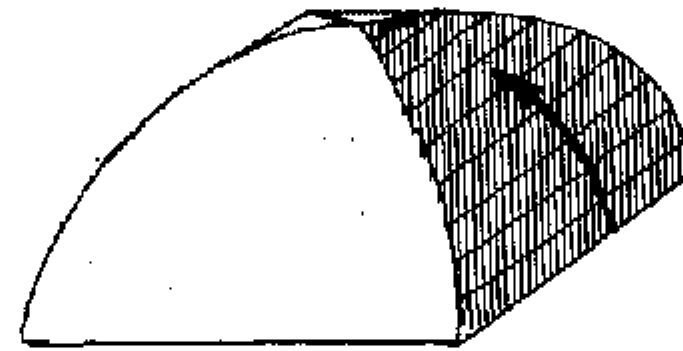
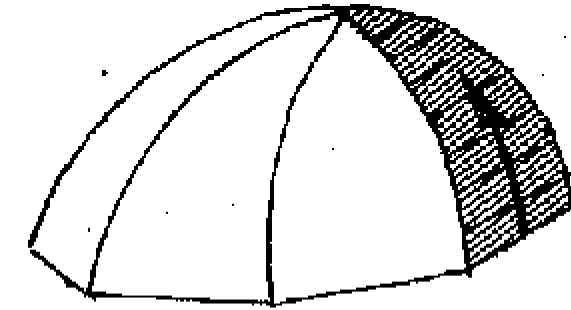
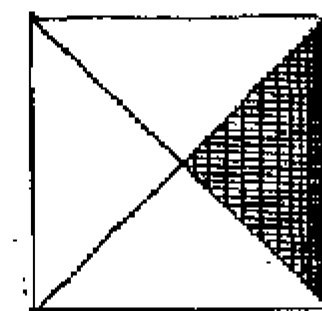
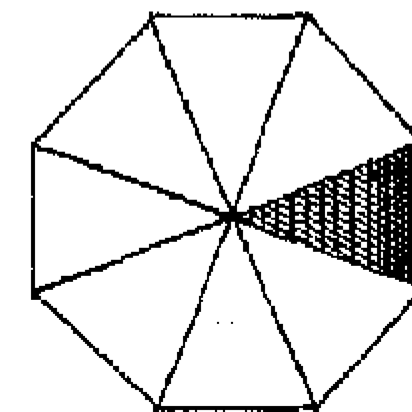

شكل ٢٥٤

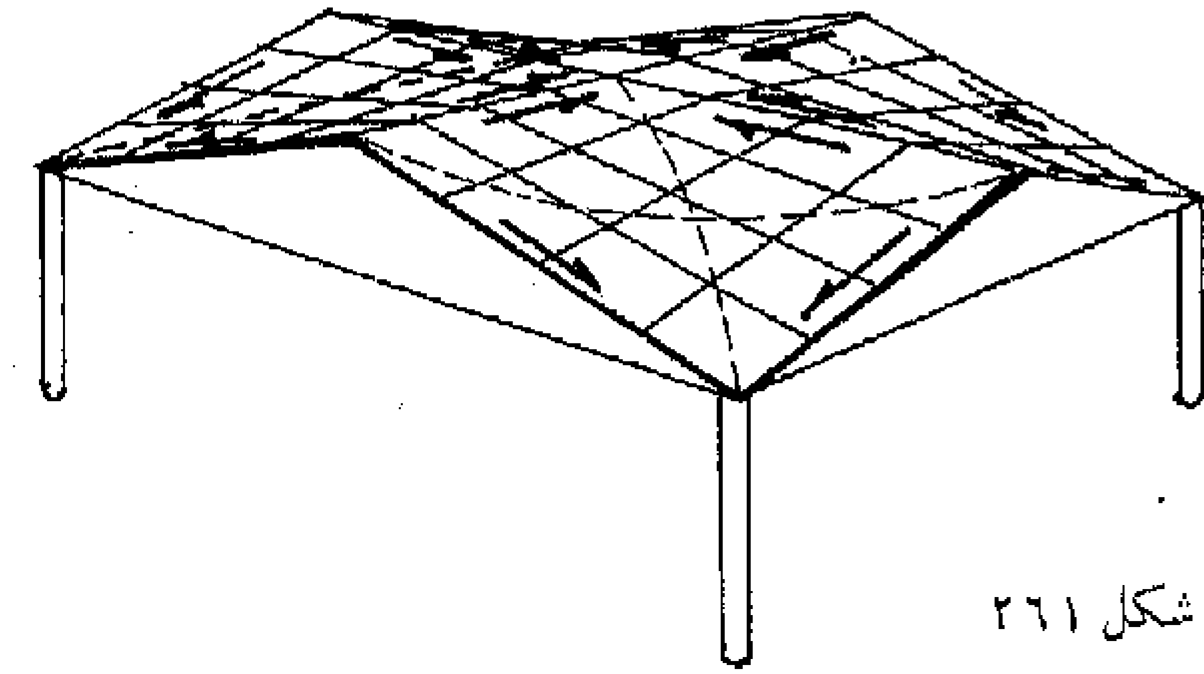

شكل ٢٥٦


شكل ٢٥٧

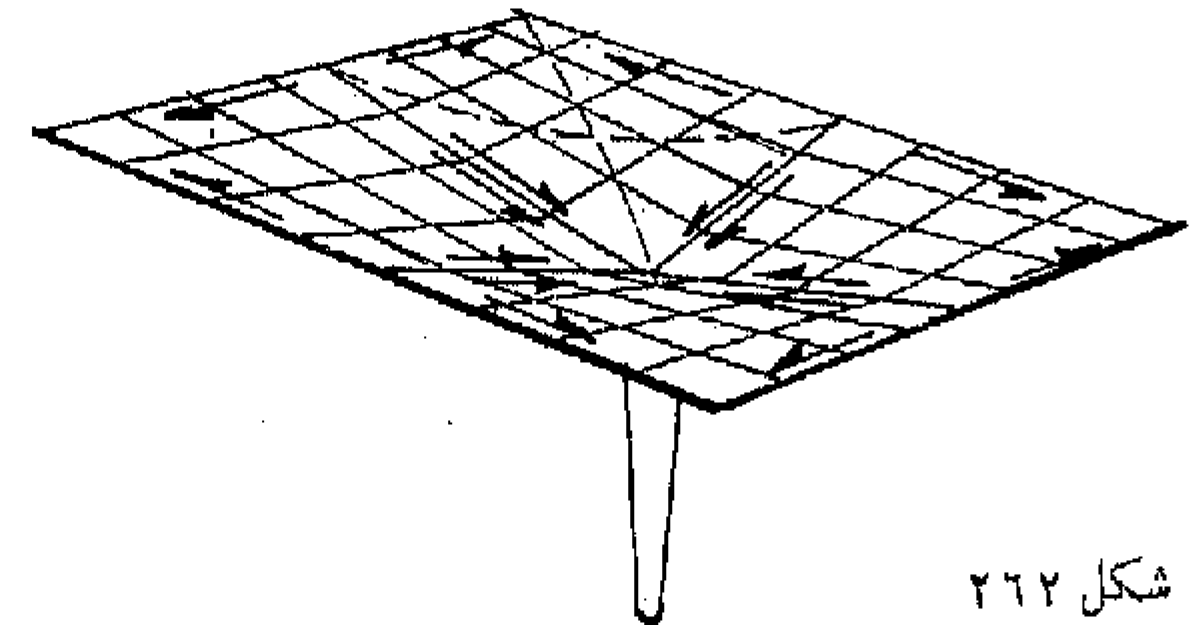
وحدات قشرية مفردة الانحناء

(شكل ٢٥٤) سطح كونيدال .
(شكل ٢٥٥) سطح شبه مخروطى .
(شكل ٢٥٦) قطع مخروطى .
(شكل ٢٥٧) سقف مخروطى وحائط أسطوانى قشرى .
(شكل ٢٥٨) أقبية أفقية .

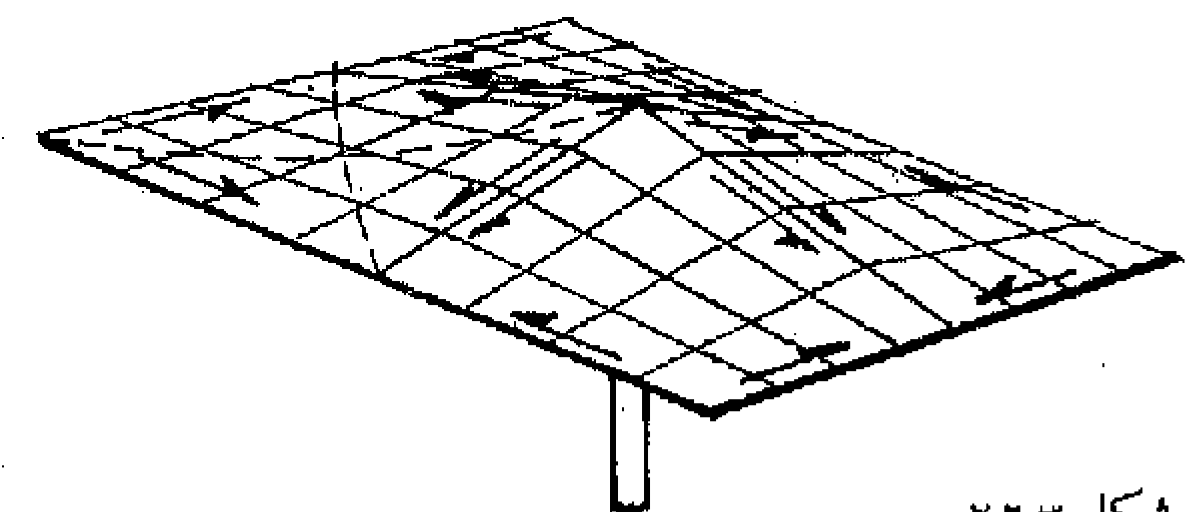




شكل ٢٥٨



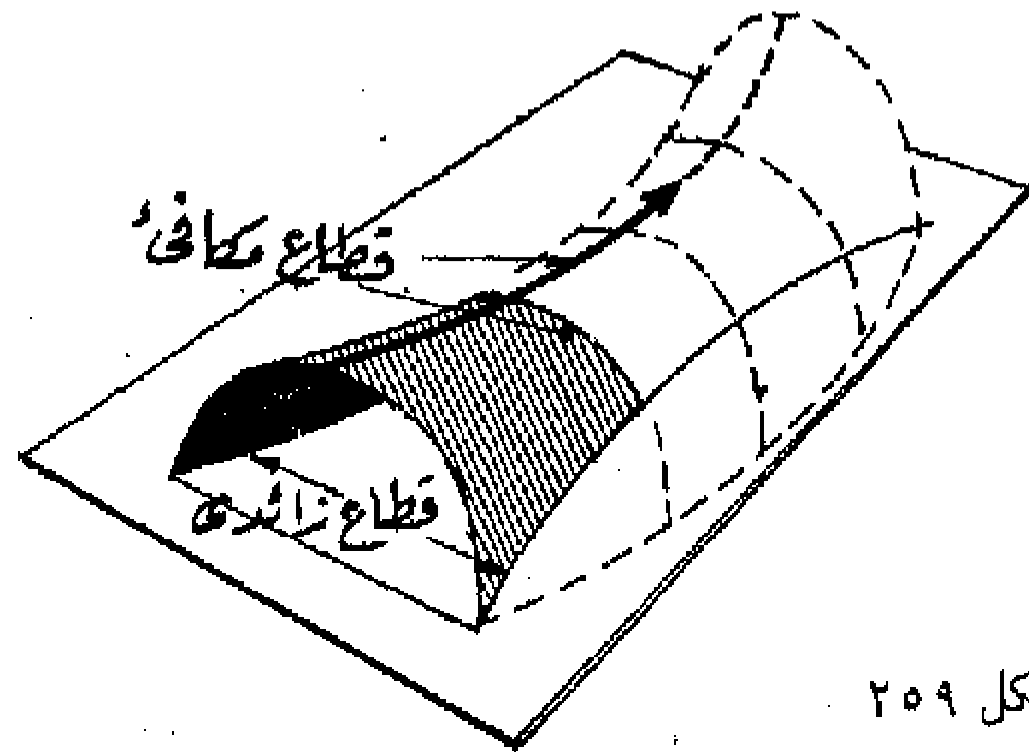
شكل ٢٦١



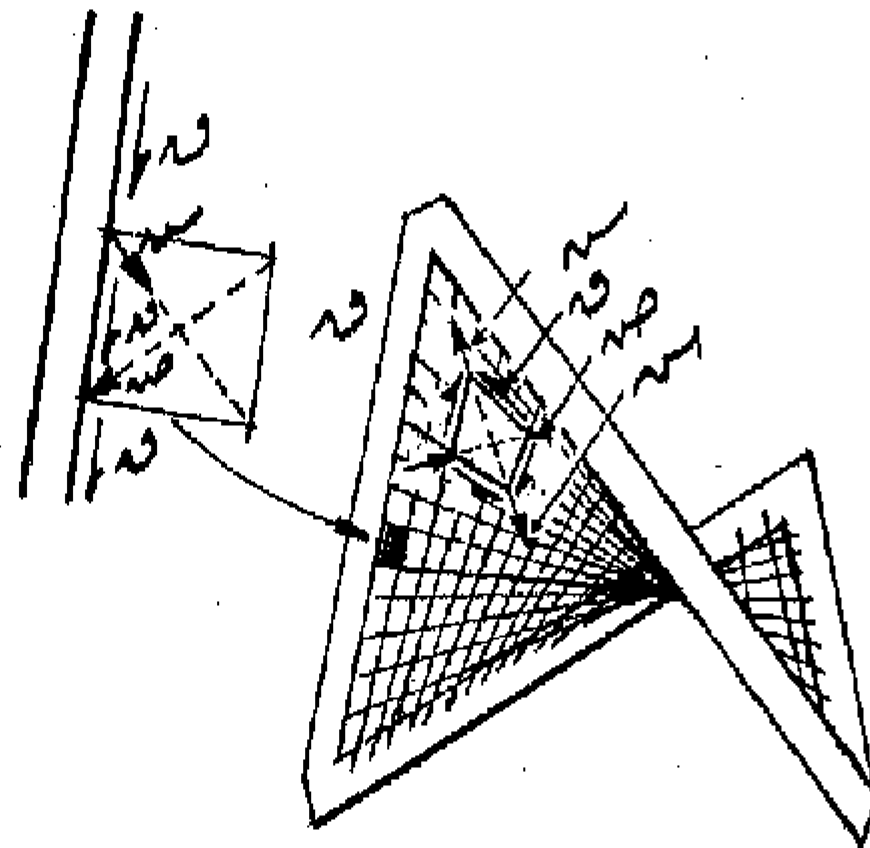
شكل ٢٦٢



شكل ٢٦٣



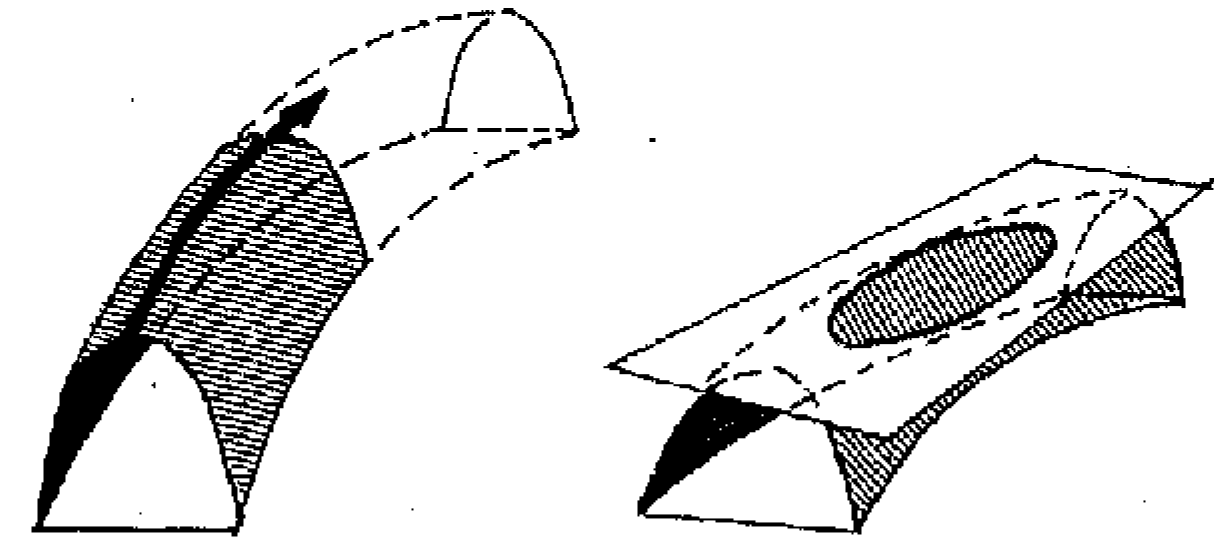
شكل ٢٥٩



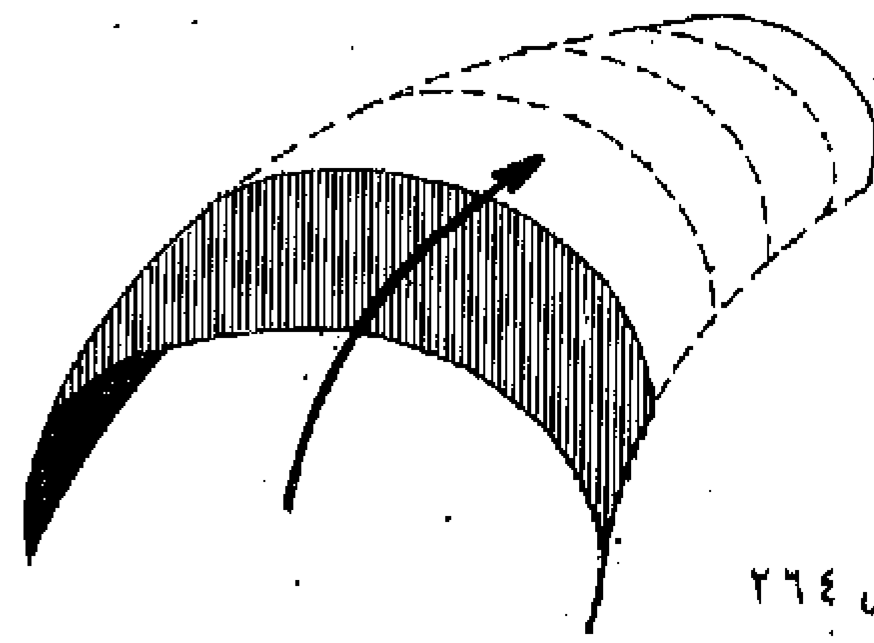
شكل ٢٦٠

وحدات قشرية مزدوجة الانحناء مختلفى الإشارة

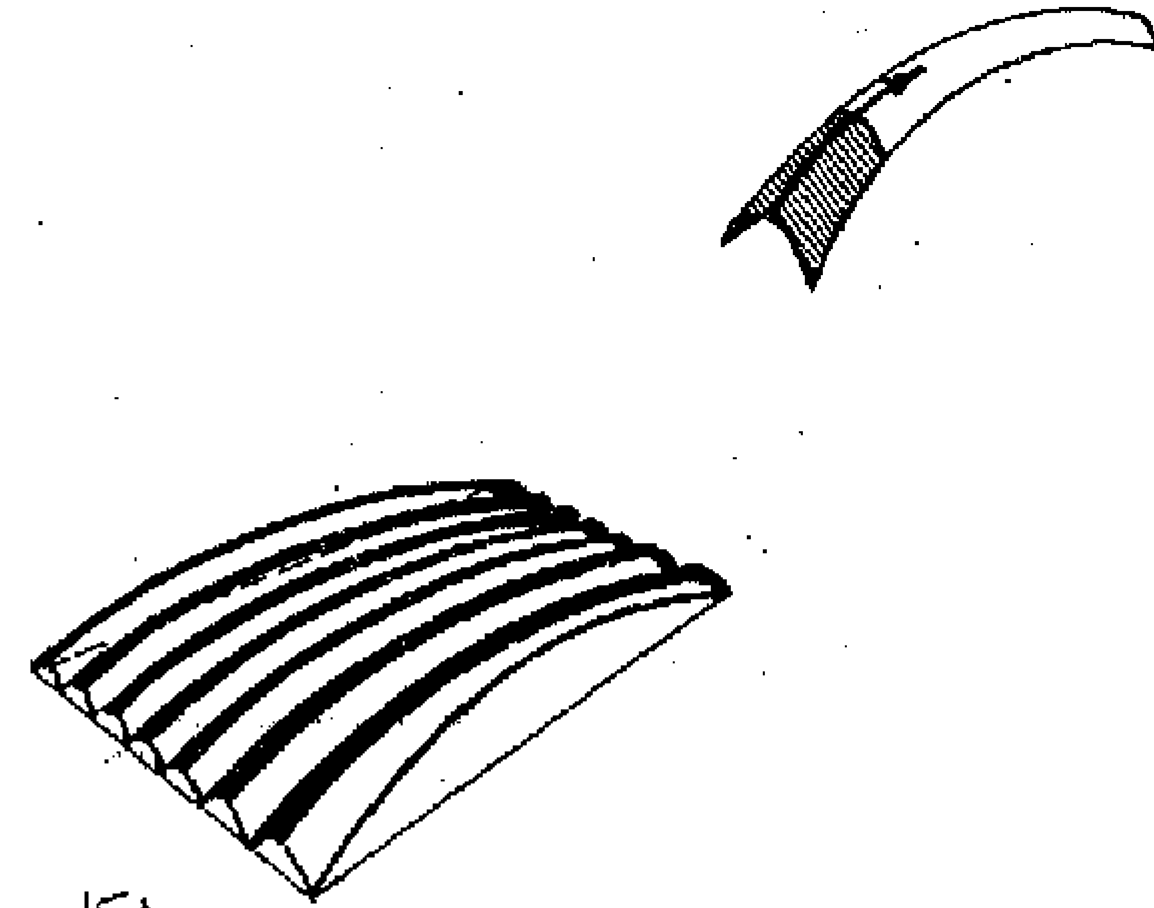
(شكل ٢٥٩) قطع زائدى مكافئ محمل على طرفيه المنحنيين .
(شكل ٢٦٠) قطع زائدى مكافئ محمل على رواسمه المستقيمة .
(شكل ٢٦١) أربع وحدات محملة على أربعة أعمدة .
(شكل ٢٦٢) سقف مظلة من أربع وحدات ونقط مركزية سفلى للتحميل .
(شكل ٢٦٣) سقف مظلة من أربع وحدات ونقط مركزية عليا للتحميل .



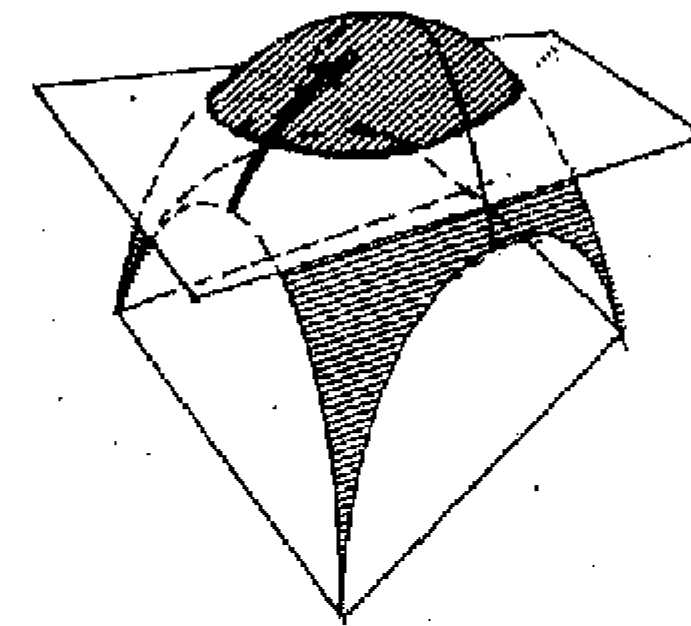
شكل ٢٦٥



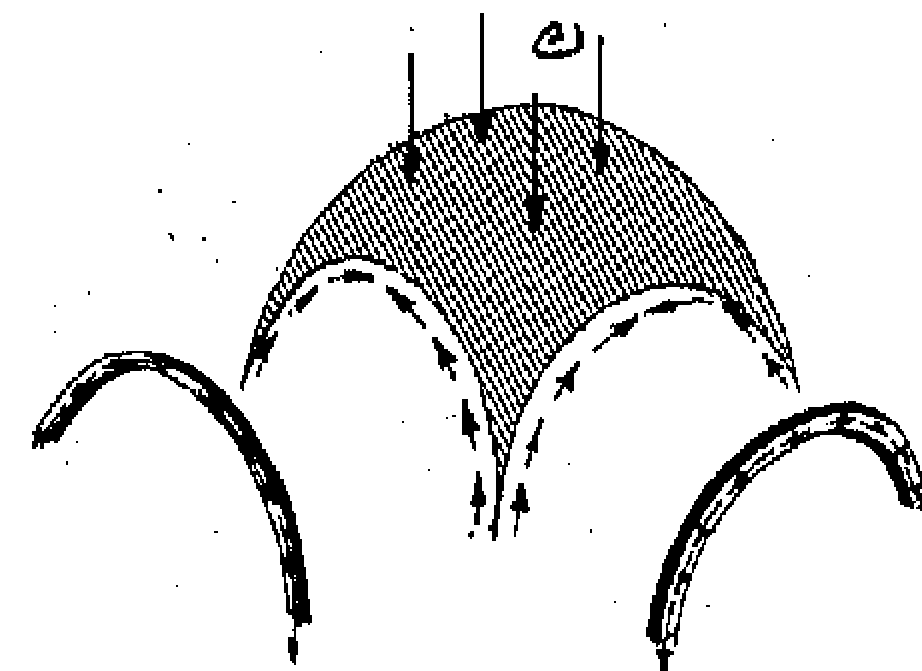
شكل ٢٦٤



شكل ٢٦٧



شكل ٢٦٦



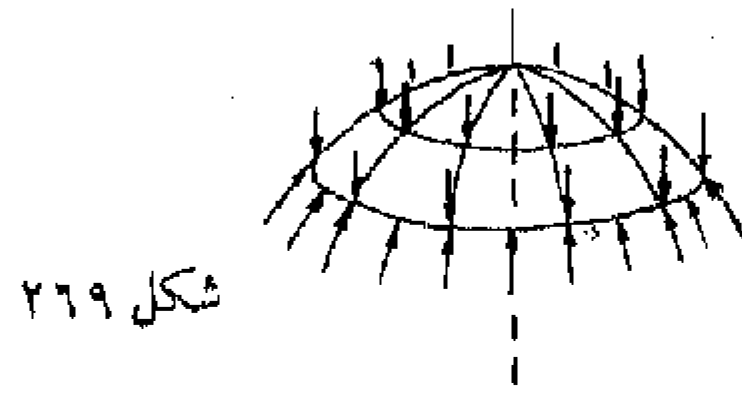
شكل ٢٦٨

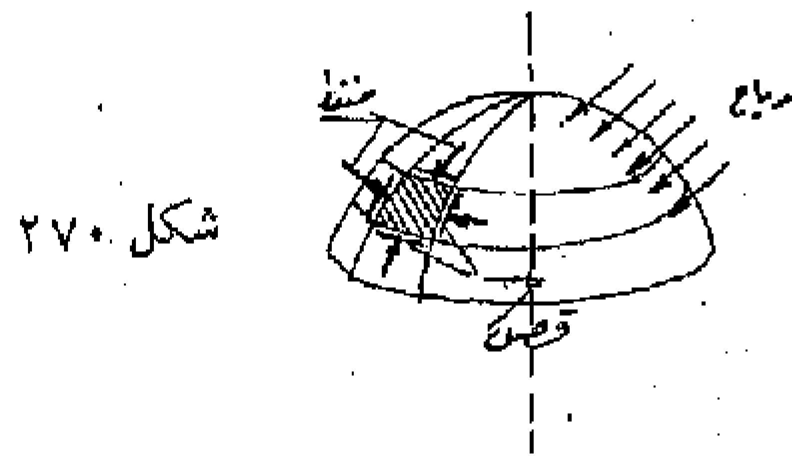
وحدات قشرية مزدوجة الانحناء من نفس الإشارة — انتقالية

(شكل ٢٦٤) أسطح انتقالية
(شكل ٢٦٥) قطاع مكافئ ناقص مستطيل .
(شكل ٢٦٦) قطاع مكافئ مربع .
(شكل ٢٦٧) أسطح مكافئة أسطوانية .
(شكل ٢٦٨) إجهادات القص المحيطية فى الأسطح الانتقالية .

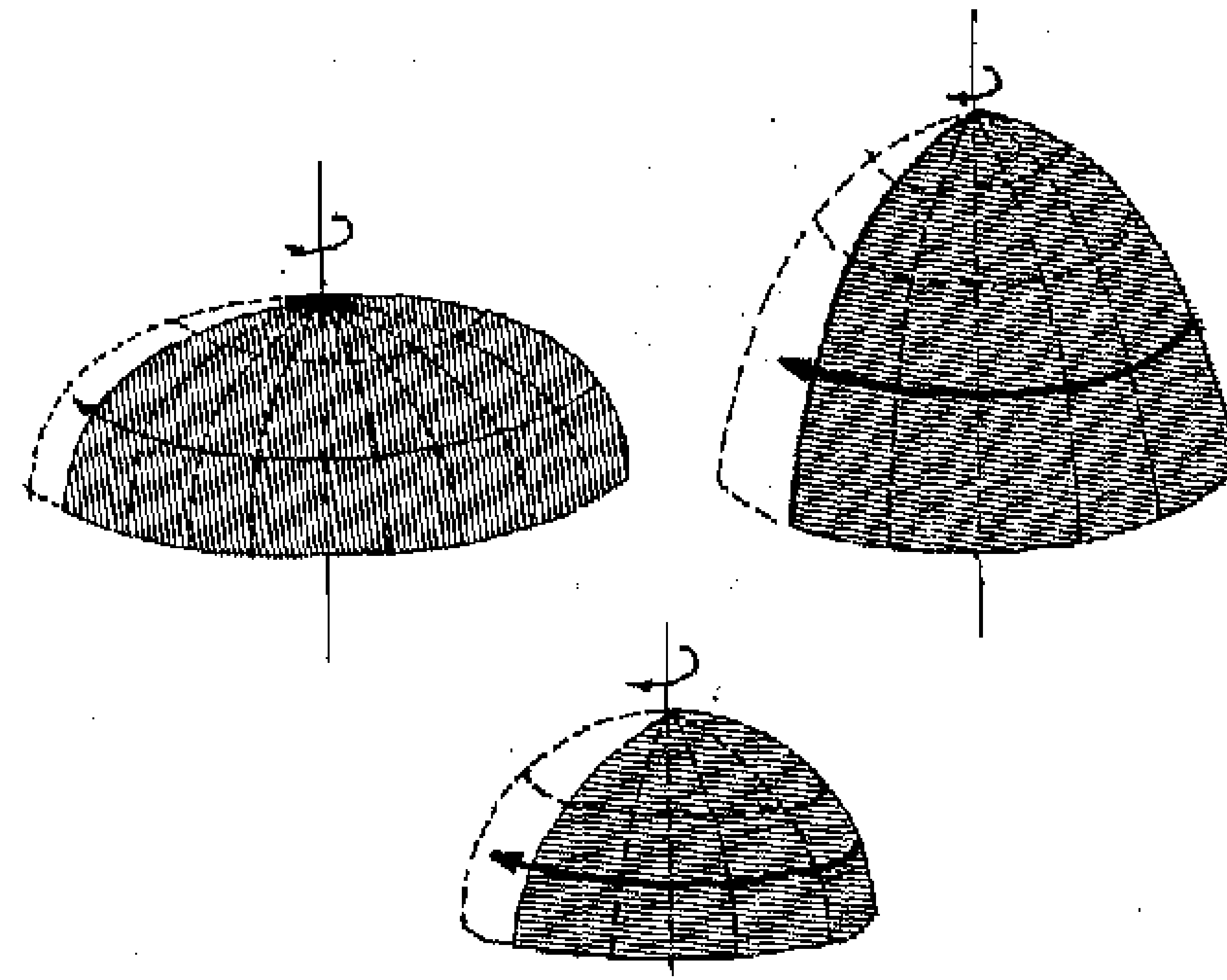
وحدات قشرية مزدوجة الانحناء — دورانية

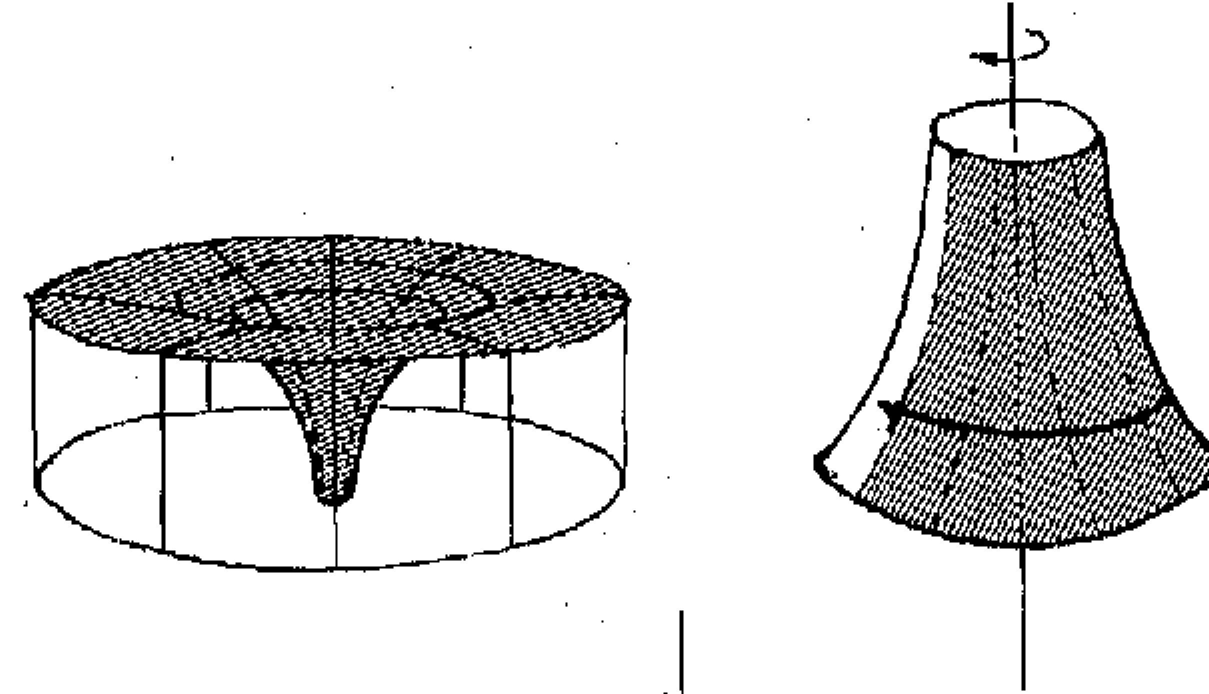
(شكل ٢٦٩) إجهادات على الرواسم فى القباب الدورانية .
(شكل ٢٧٠) الإجهادات نتيجة للرياح
(شكل ٢٧١) أسطح دورانية على شكل قطاع ناقص ومكافئ ودائرى .
(شكل ٢٧٢) أسطح إكليل الصباح .
(شكل ٢٧٣) سطح أسطوانى حلقى .
(شكل ٢٧٤) سطح شرقى دورانى وعلى شكل قطاع ناقص وعلى شكل قطرة مياه .

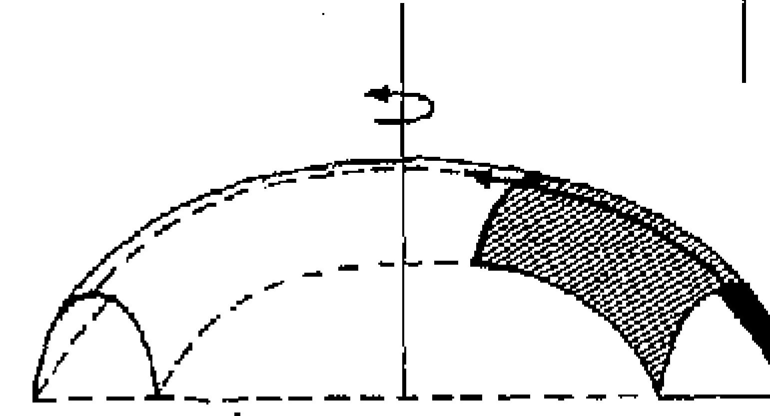

شكل ٢٦٩

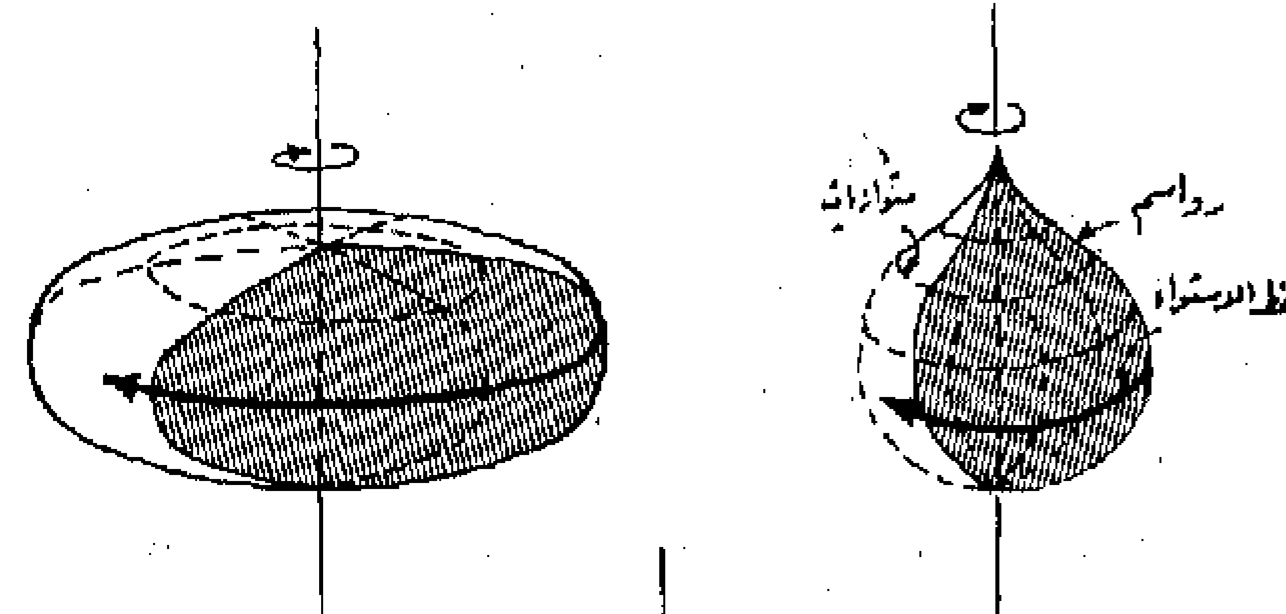


شكل ٢٧٠

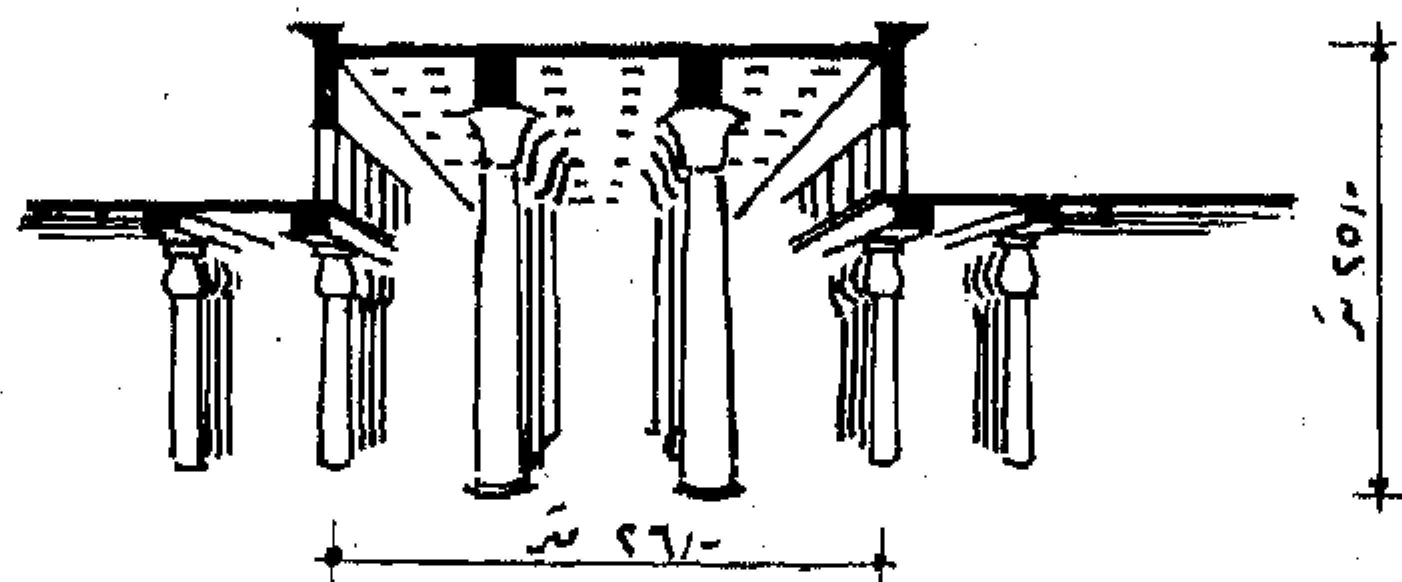

شكل ٢٧١

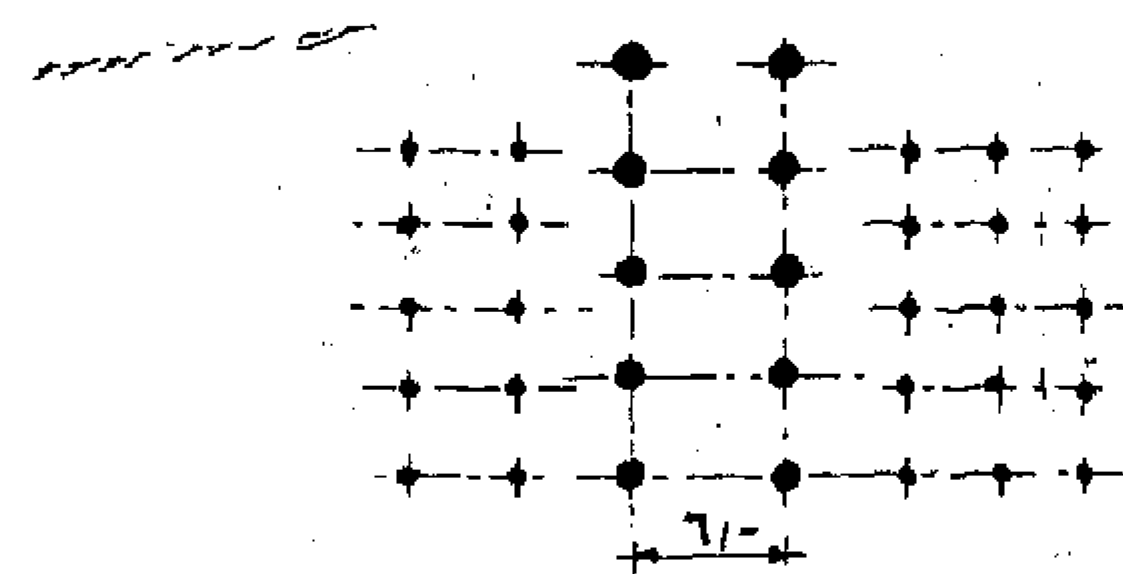

شكل ٢٧٢


شكل ٢٧٣

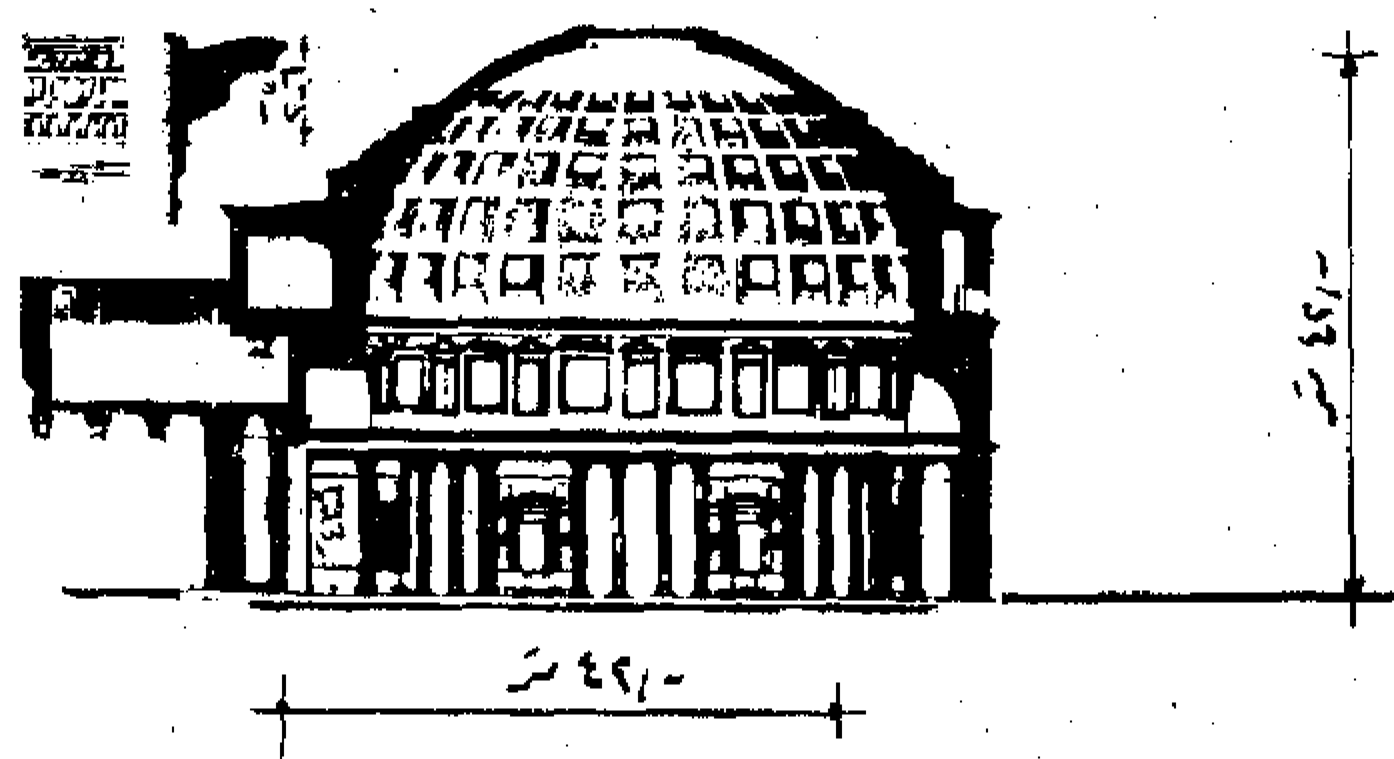


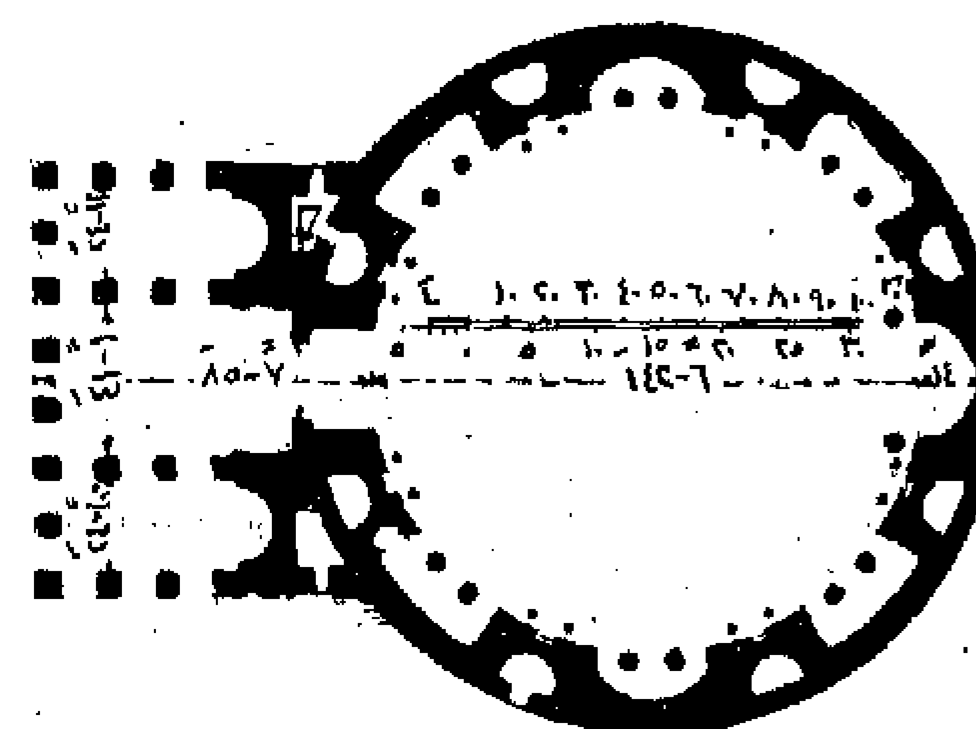
شكل ٢٧٤



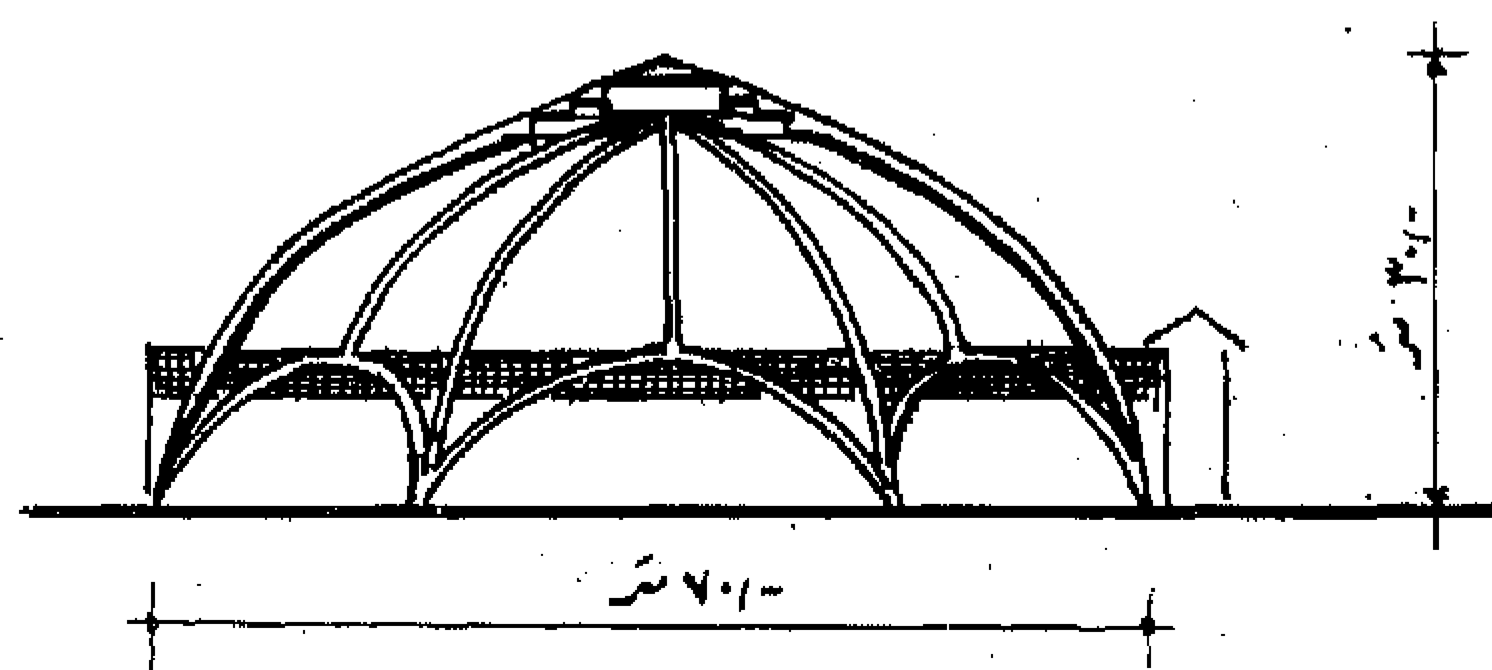


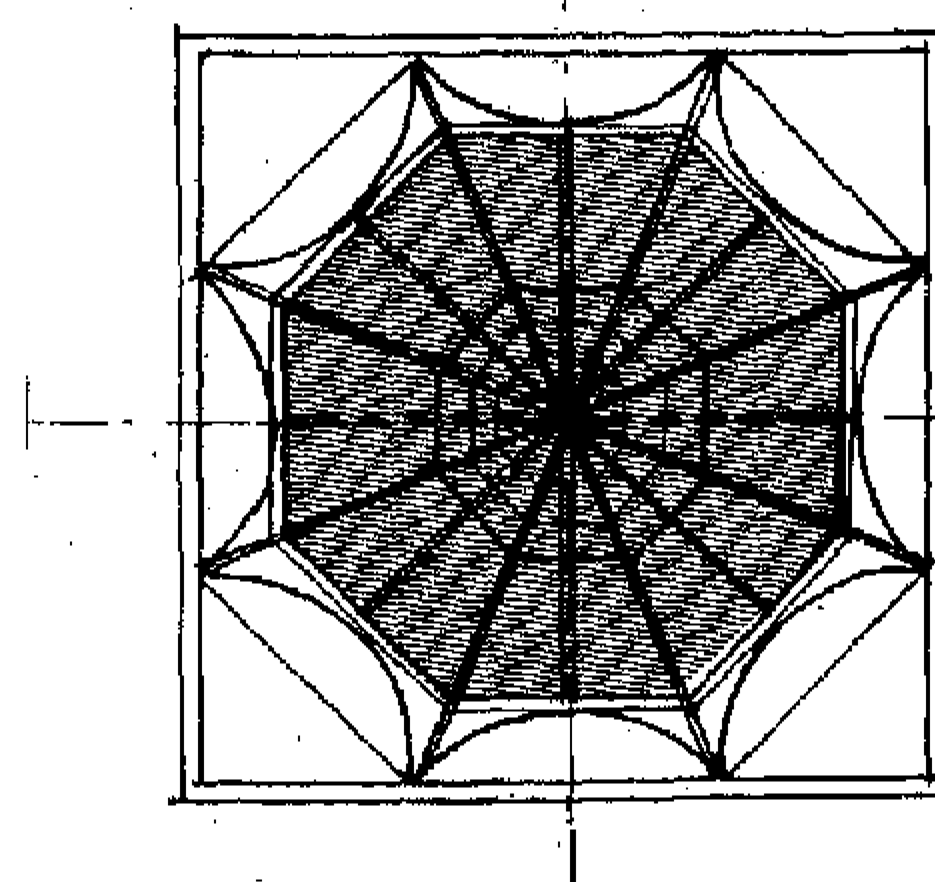
شكل ٢٧٥





شكل ٢٧٦





شكل ٢٧٧

النسب العامة للفراغ بالمواد المختلفة

(شكل ٢٧٥) الإنشاء المصرى القديم بالحجارة – معبد الكرنك بالأقصر.

(شكل ٢٧٦) الإنشاء الرومانى بالطوب والخرسانة – البانثيون بروما.

(شكل ٢٧٧) الإنشاء الحديث بالخرسانة المسلحة – صالة السوق فى ليبزج.

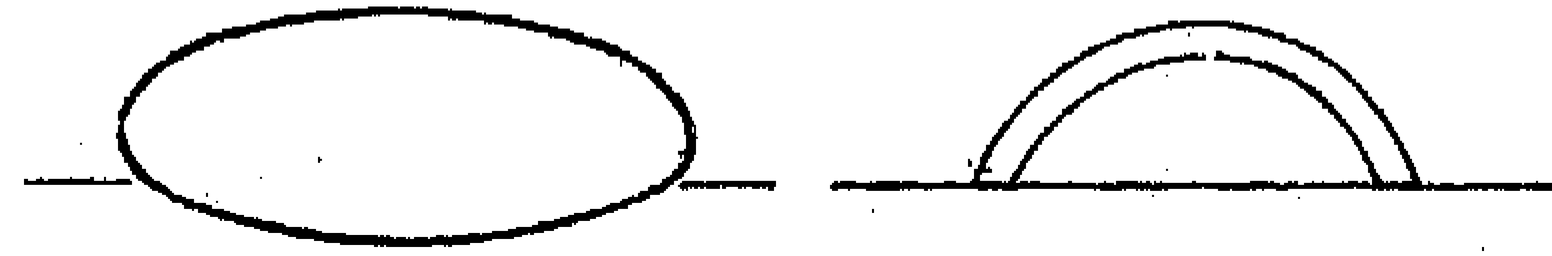
مشاكل الفراغات المعمارية المحددة بالأسطح الفعالة

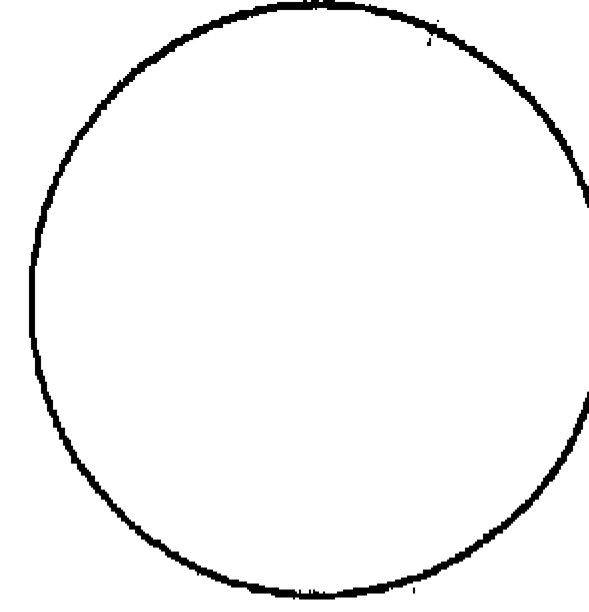
(شكل ٢٧٨) مساقط وقطاعات منحنية .

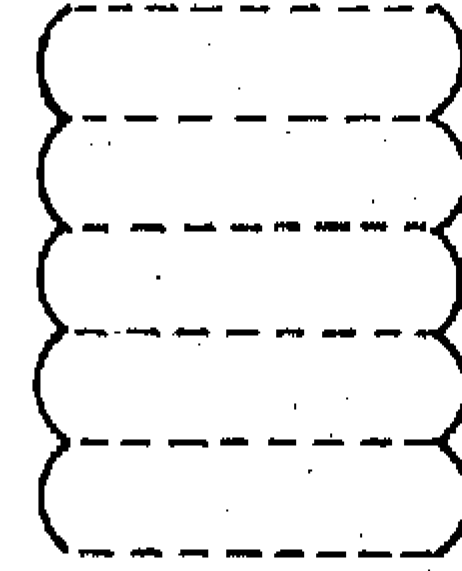
(شكل ٢٧٩) فراغات معمارية صعبة الاستعمال أو ميتة .

(شكل ٢٨٠) عدم مرونة بالنسبة للقشرة الخارجية وحرية فى الفراغ العام الداخلى .

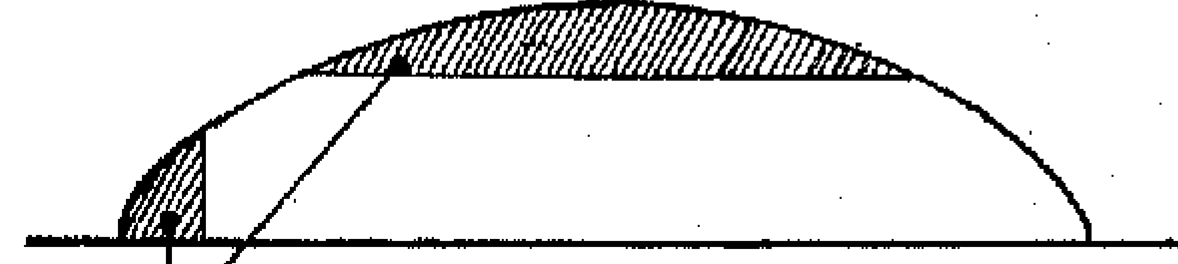
(شكل ٢٨١) صعوبة الفتحات فى القشرة الخارجية .



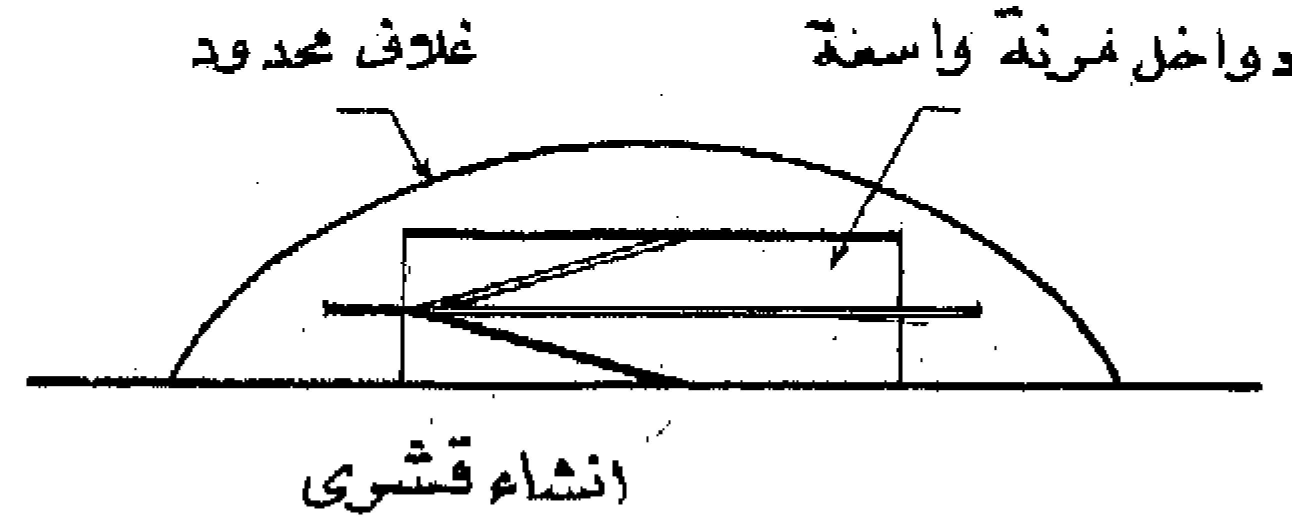




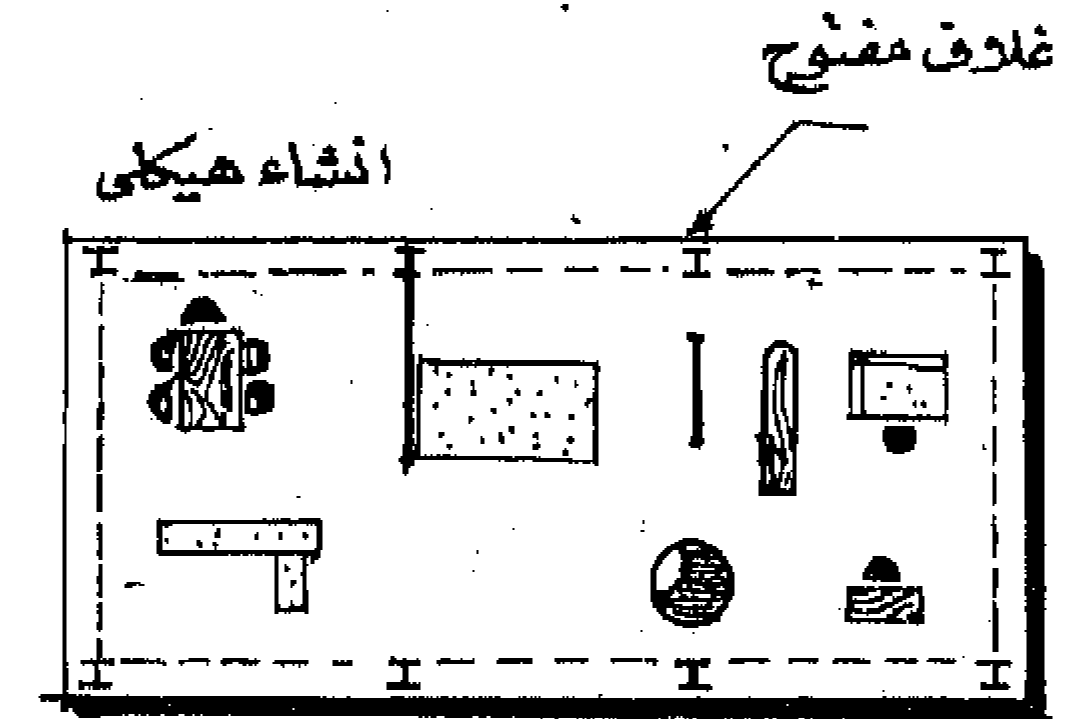
شكل ٢٧٨



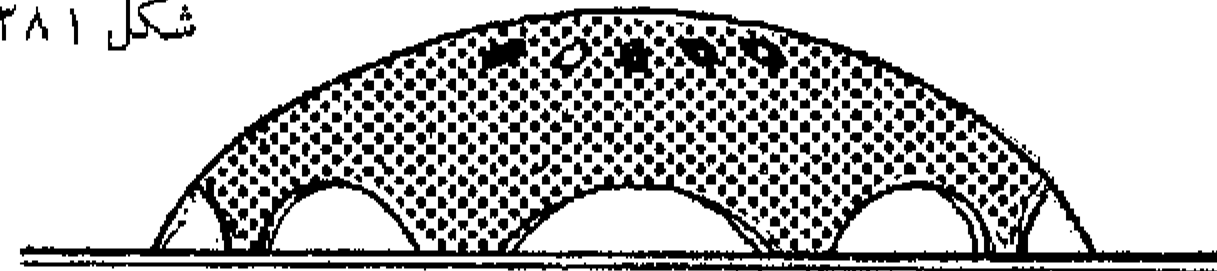
شكل ٢٧٩



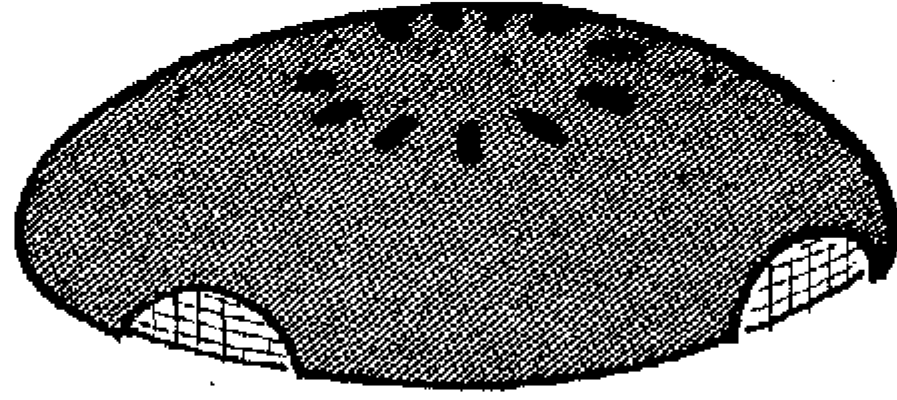
شكل ٢٨٠



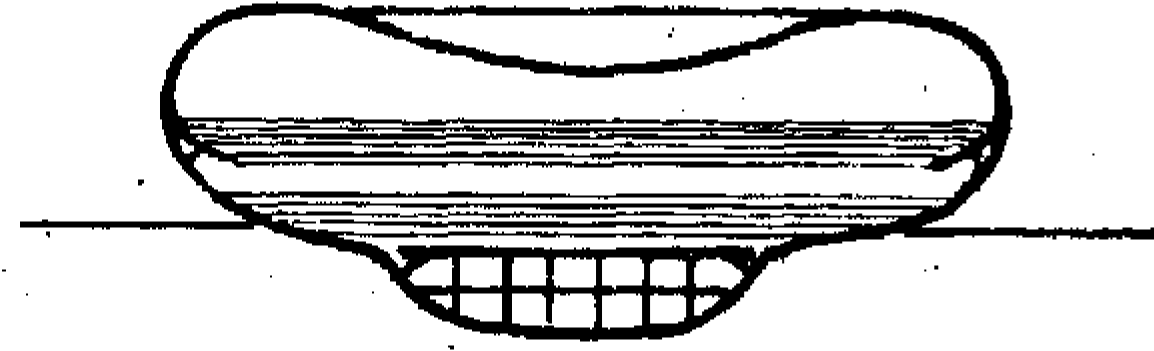
شكل ٢٨١

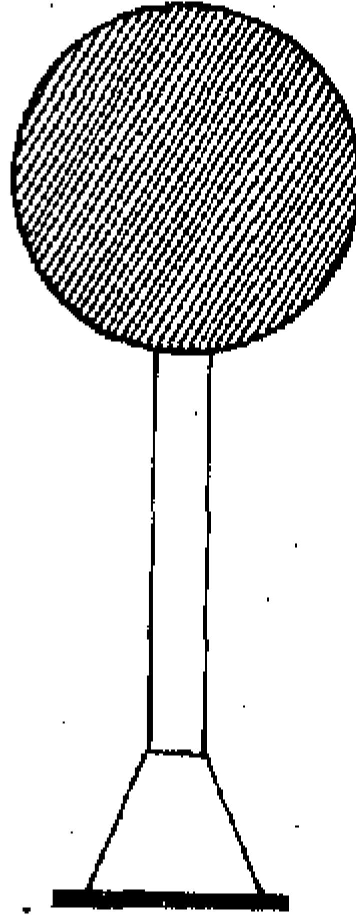


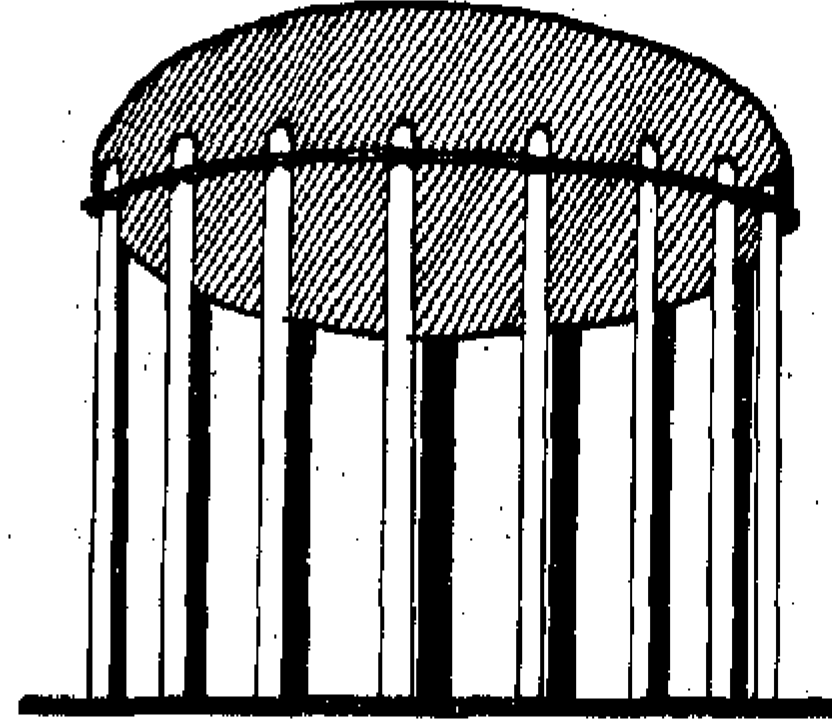




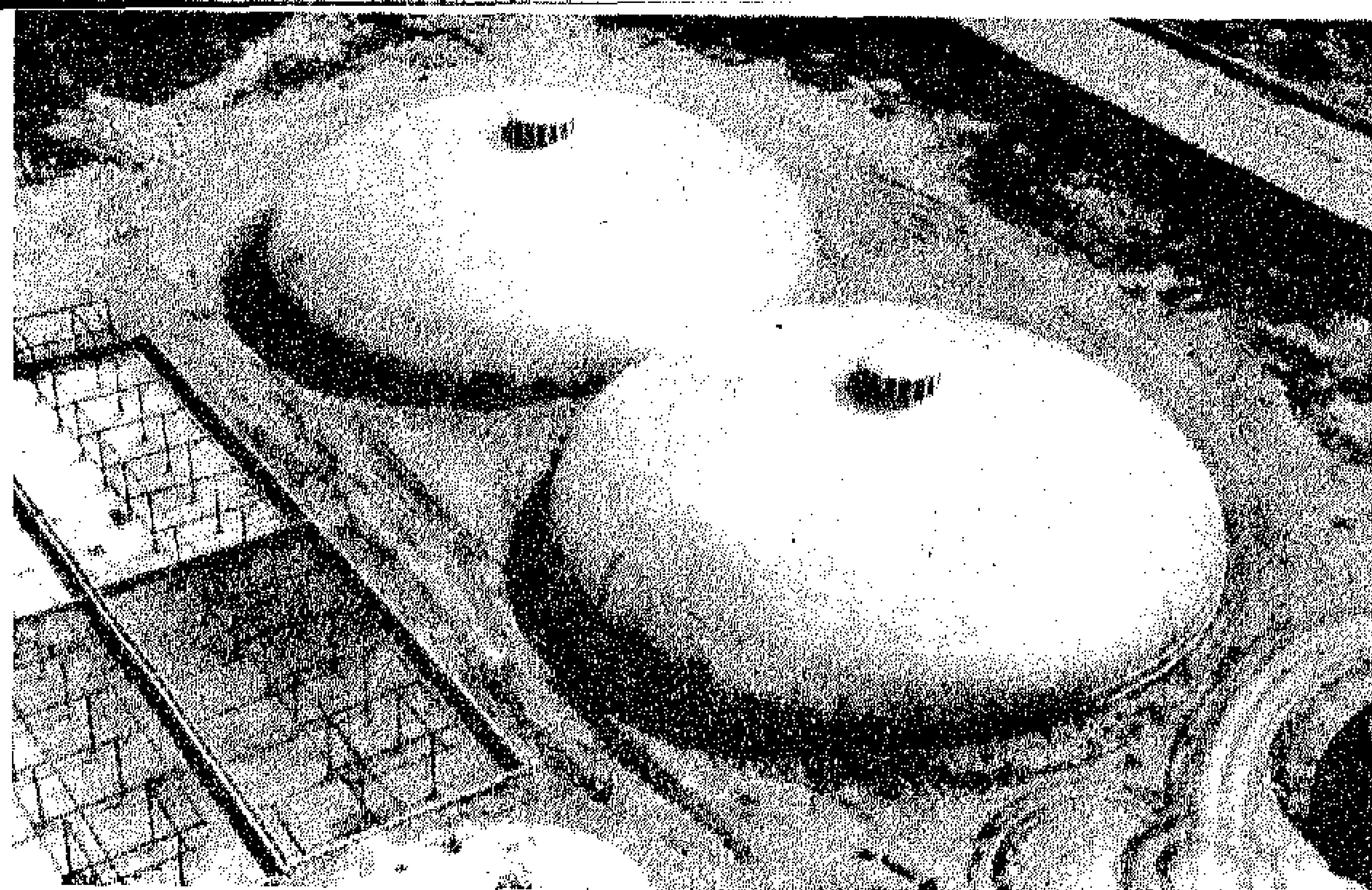
شكل ٢٨٢







شكل ٢٨٣



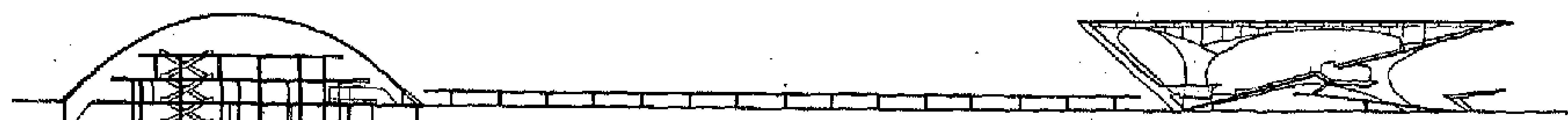
شكل ٢٨٤

مشاكل الفراغات المعمارية بالأسطح الفعالة .

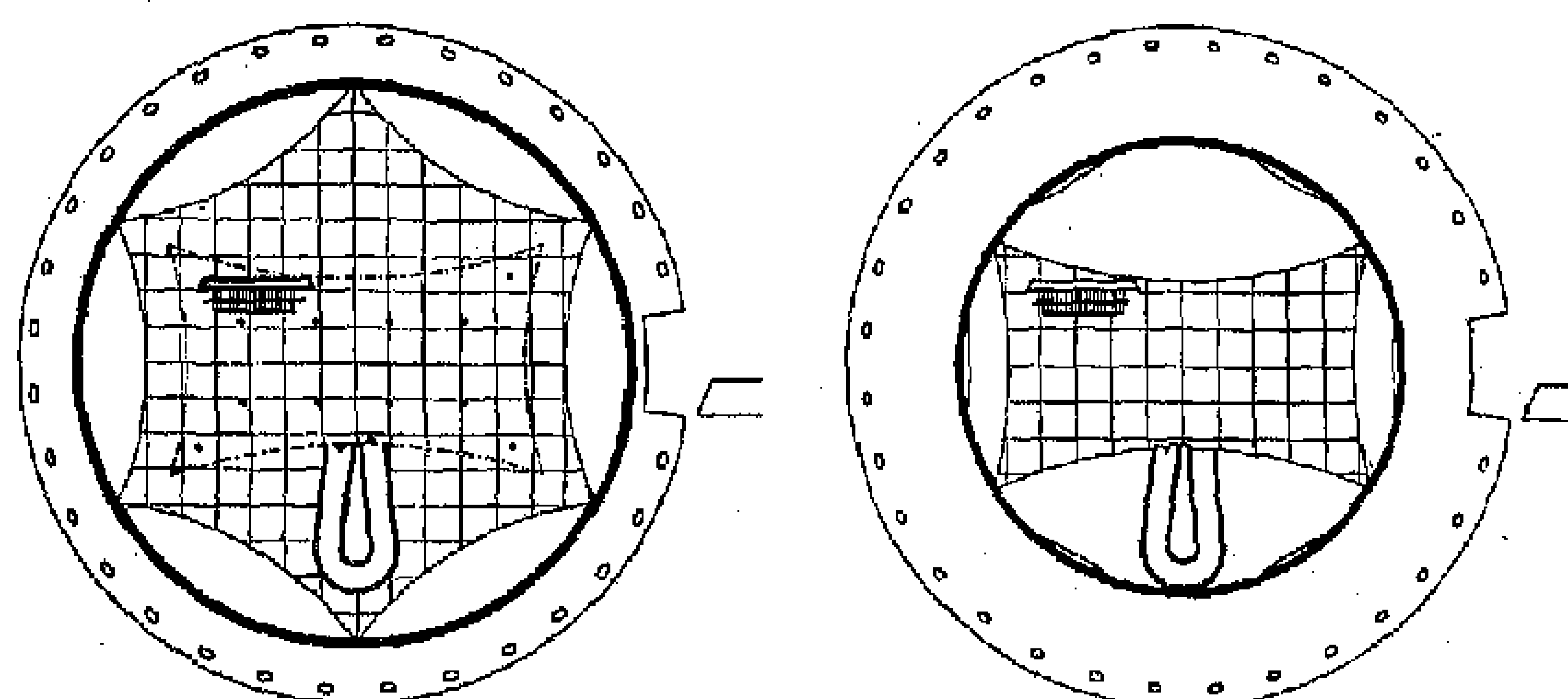
(شكل ٢٨٢) الغلاف الشرنقى لفراغات اجتماعات واسعة .
(شكل ٢٨٣) خزانات حبوب وسوائل كروية أو على شكل قطاع ناقص .
(شكل ٢٨٤) صدفات دورانية بقطر ١٥٠ قدما ذات قطاع ناقص لتغطية مرشحات فى محطة مدينة هيبينج بمنسوتا (المعمارى تايلر) .



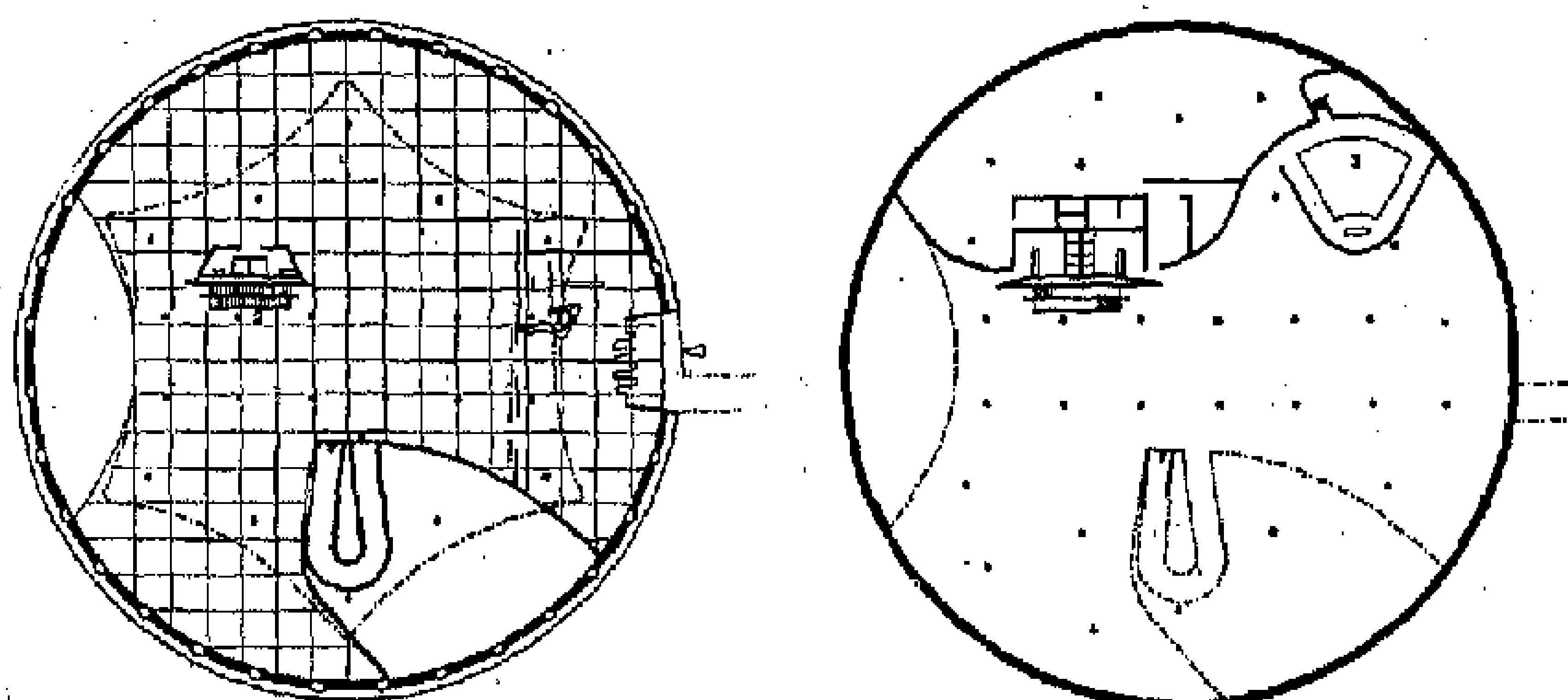
شكل ٢٨٥



شكل ٢٨٦



شكل ٢٨٧



التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء

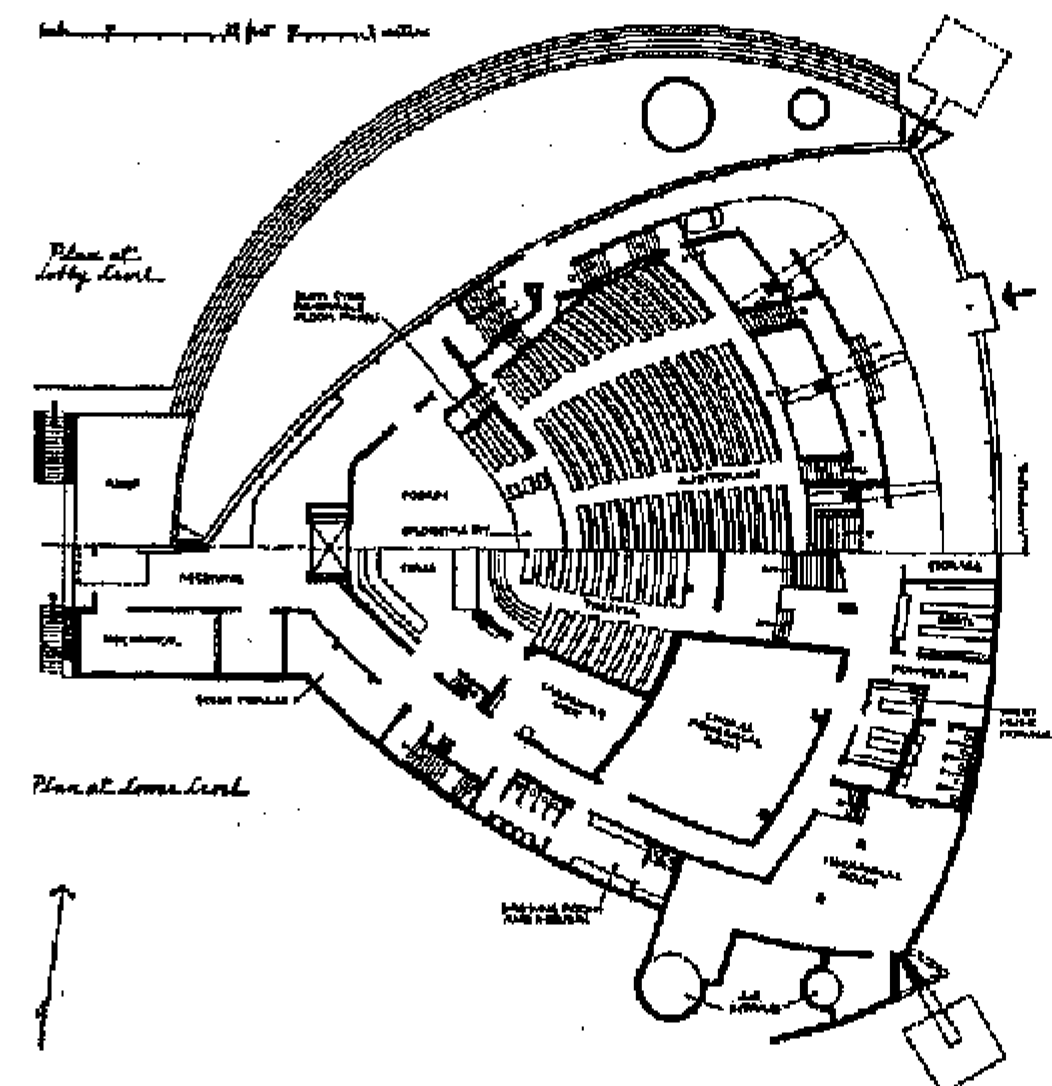
(شكل ٢٨٥) قصر الفنون بسان باولو سنة ١٩٥٤ (المعمارى نيماير وآخرون) .
(شكل ٢٨٦) قطاع طولى بالمجموعة .
(شكل ٢٨٧) مساقط معمارية للدور الأرضى والأول والثانى والثالث .

شكل ٢٨٨

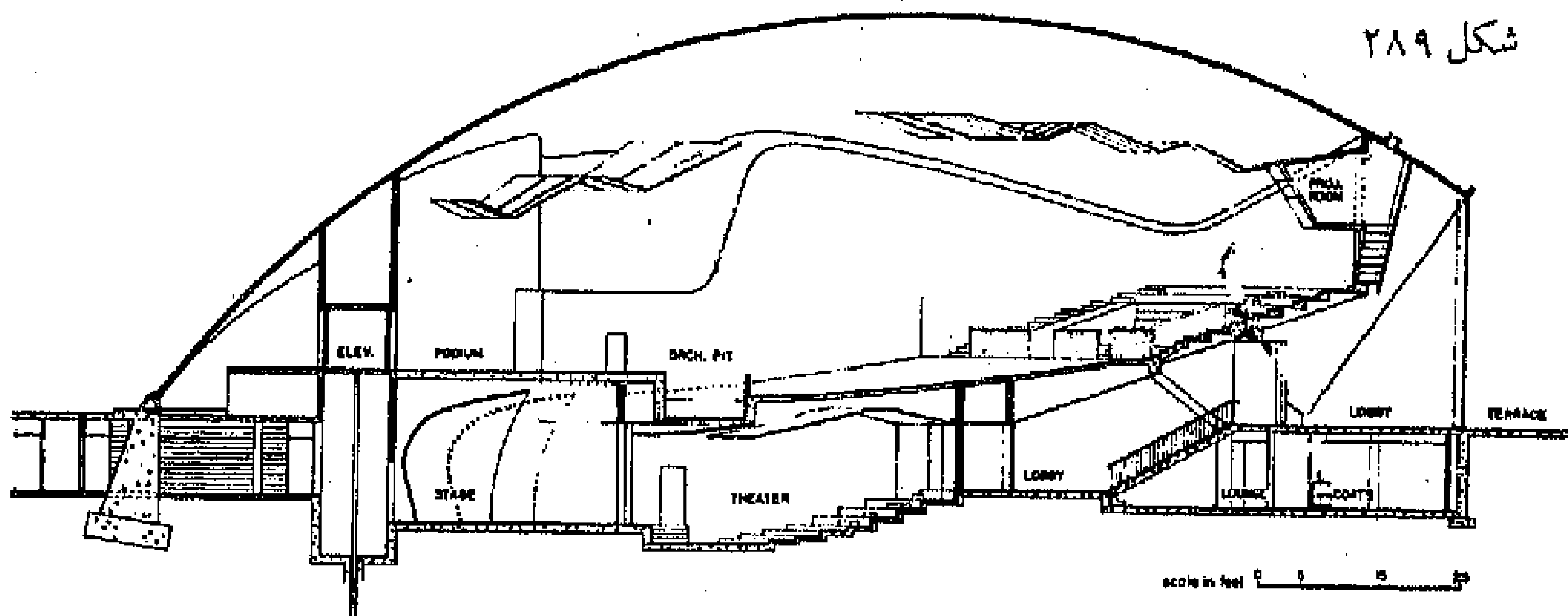
التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء — القطاعات

(شكل ٢٨٨) مبنى أجتماعات بمعهد ماستشوستس للتكنولوجيا بكامبردج بولاية ماستشوستس (المعمارى آيرو سارينن والإنشائى امان وويتنى) .
(شكل ٢٨٩) قطاع طولى فى المبنى
(شكل ٢٩٠) مسقط أفقى .

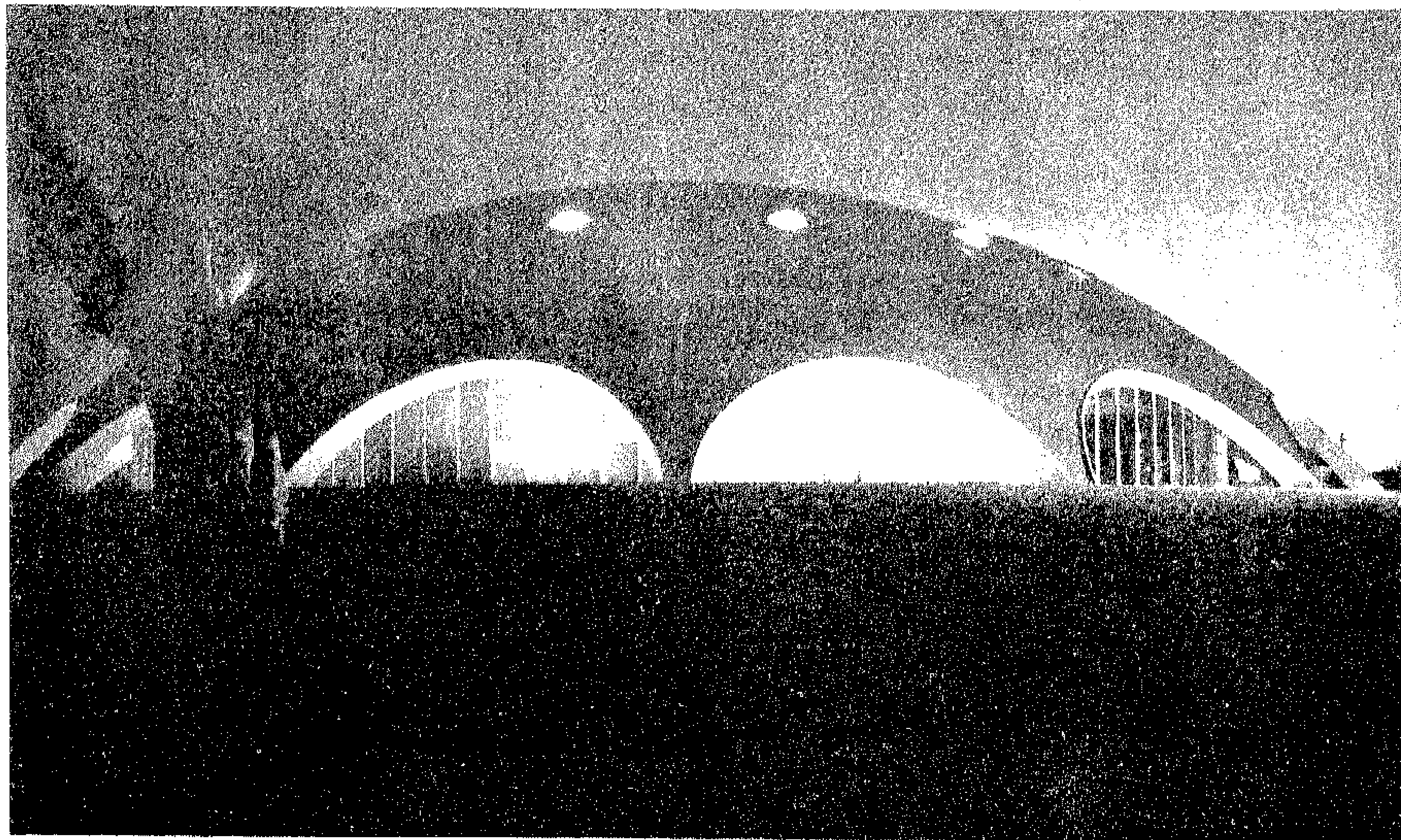
شكل ٢٩٠



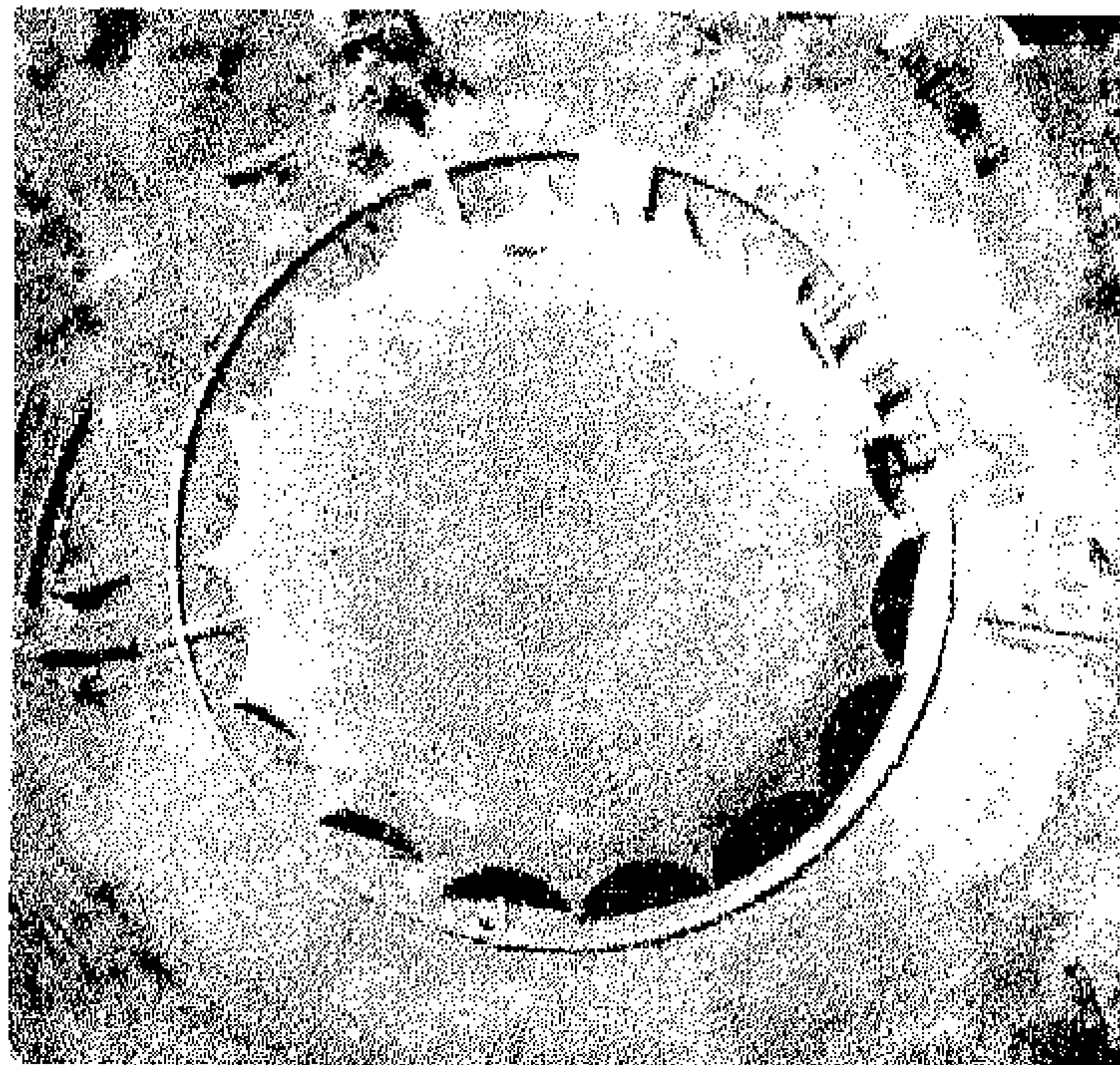
شكل ٢٨٩

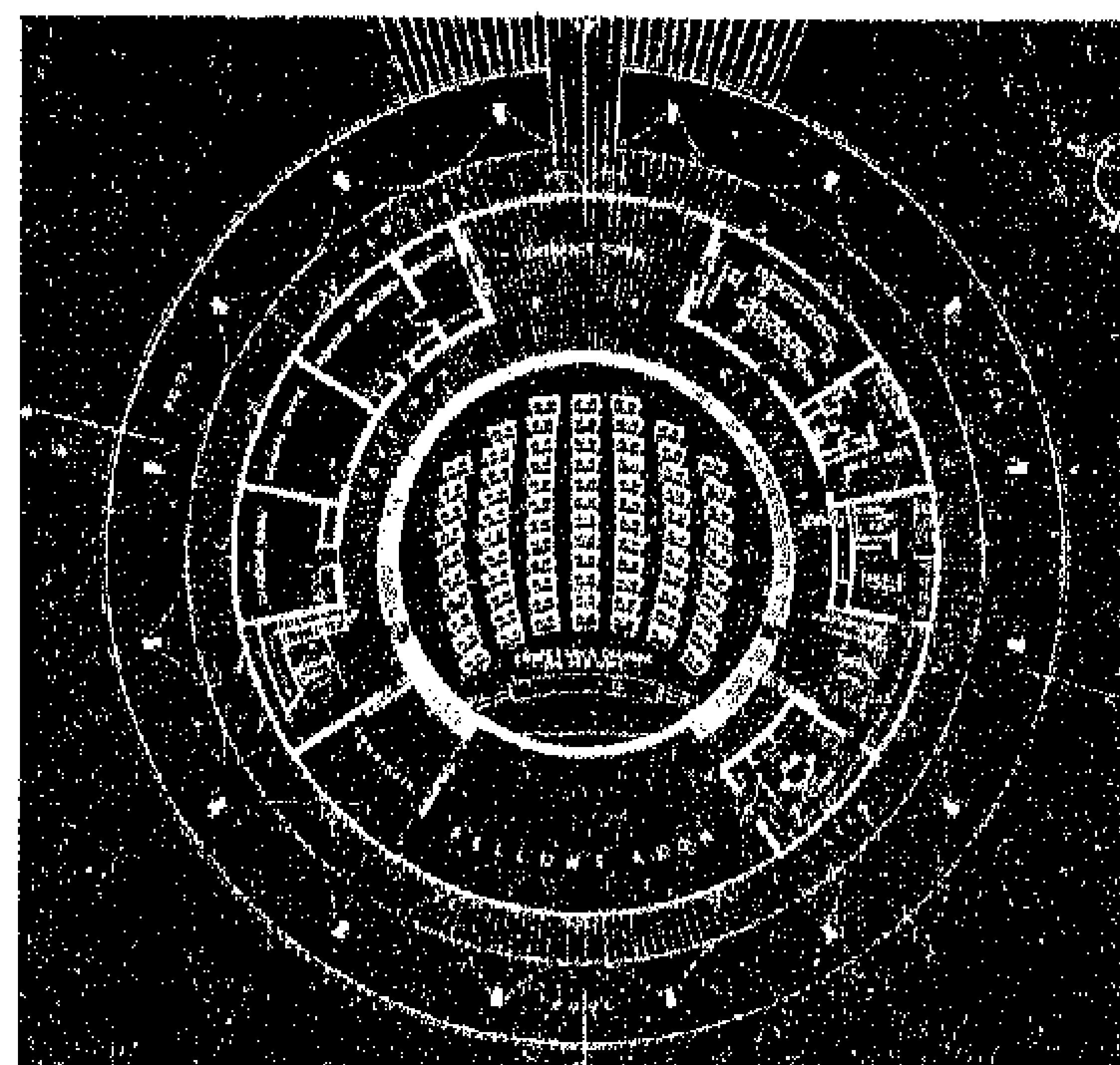


شكل ٢٩١



شكل ٢٩٢

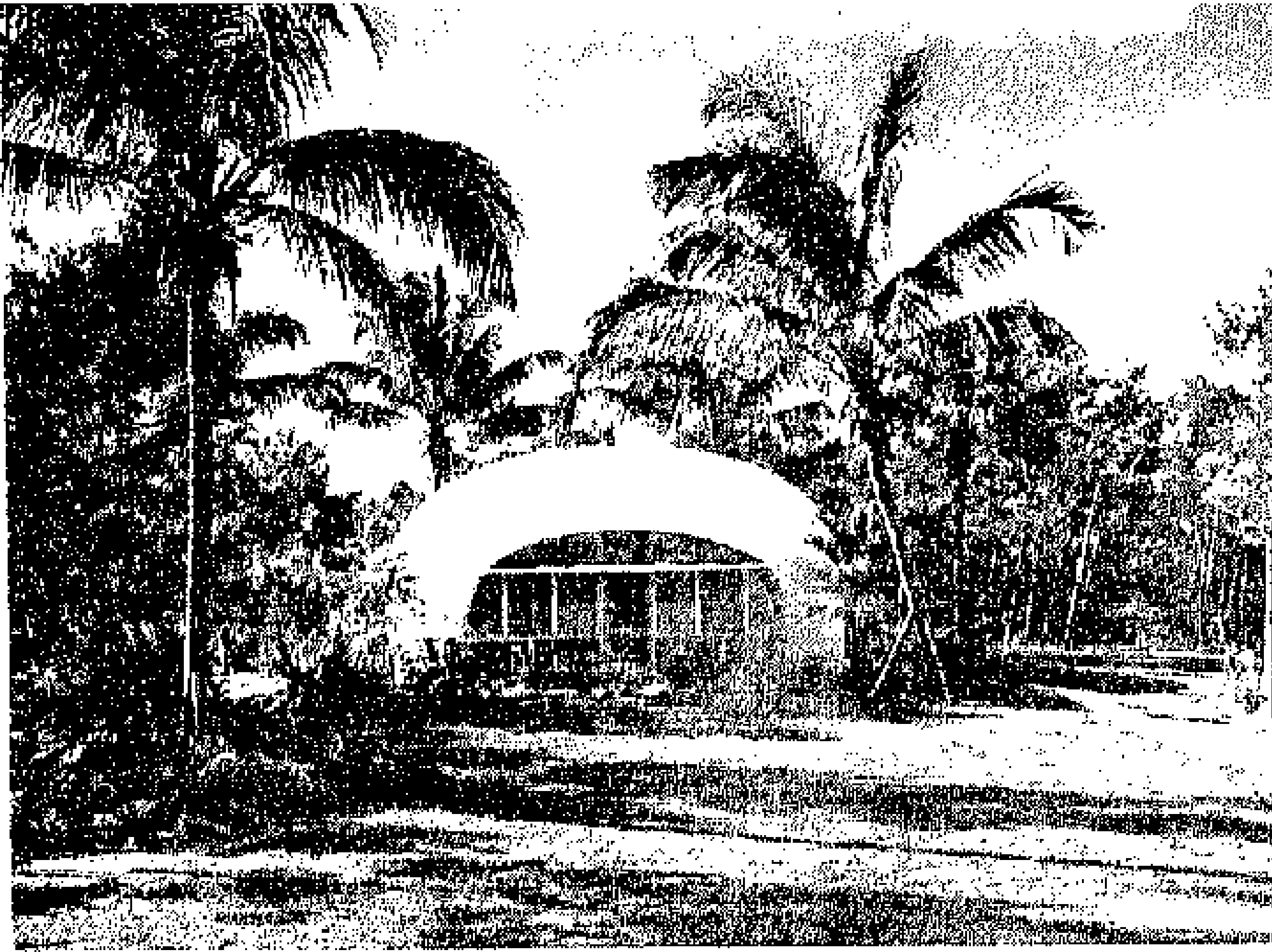




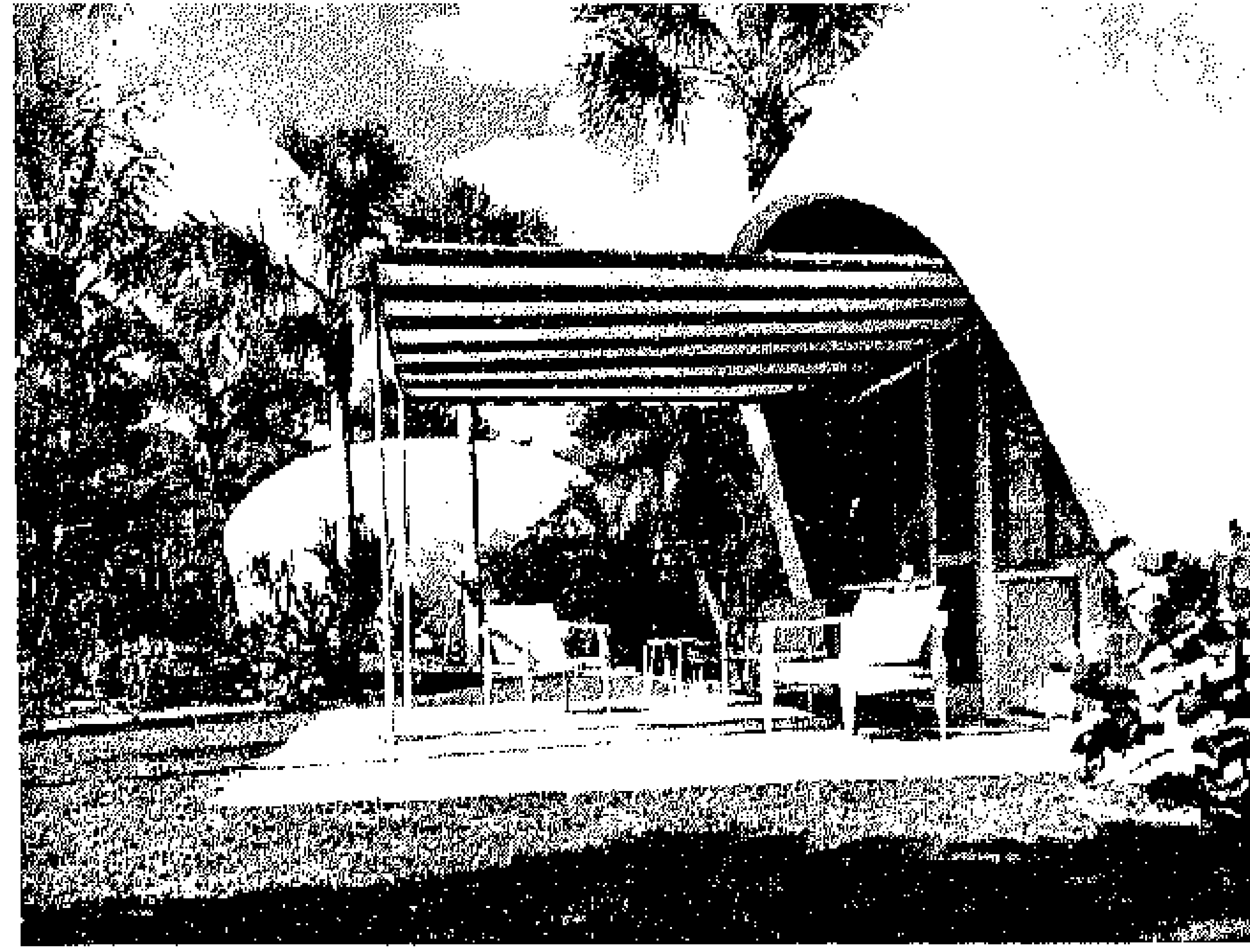
التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء - القطاعات

(شكل ٢٩١) مبنى أكاديمية العلوم بكانبرا باستراليا (المعماريون جرونلدز وروميرج وبوبد)
(شكل ٢٩٢) مسقط وموقع عام.

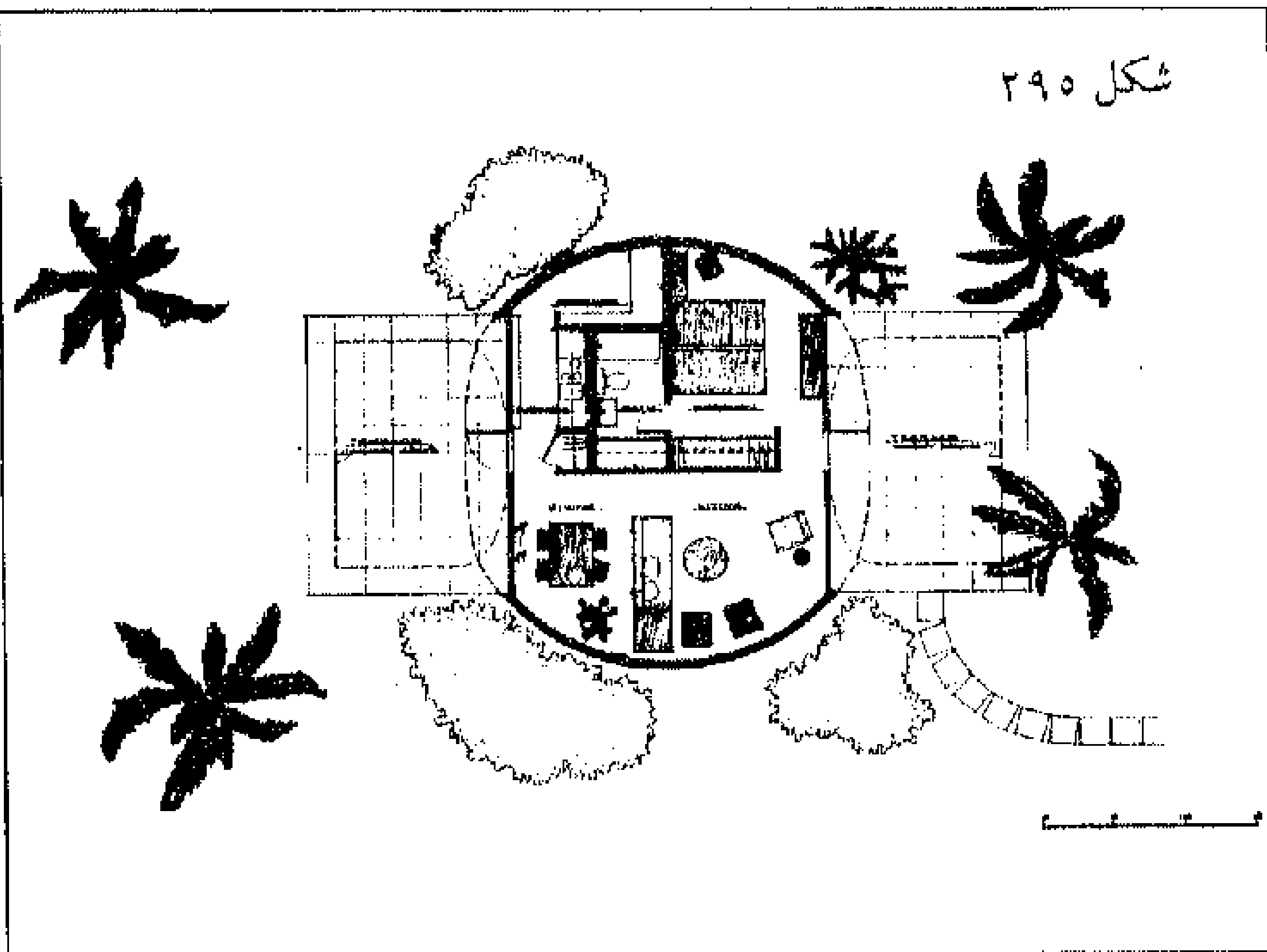
شكل ٢٩٣



شكل ٢٩٤



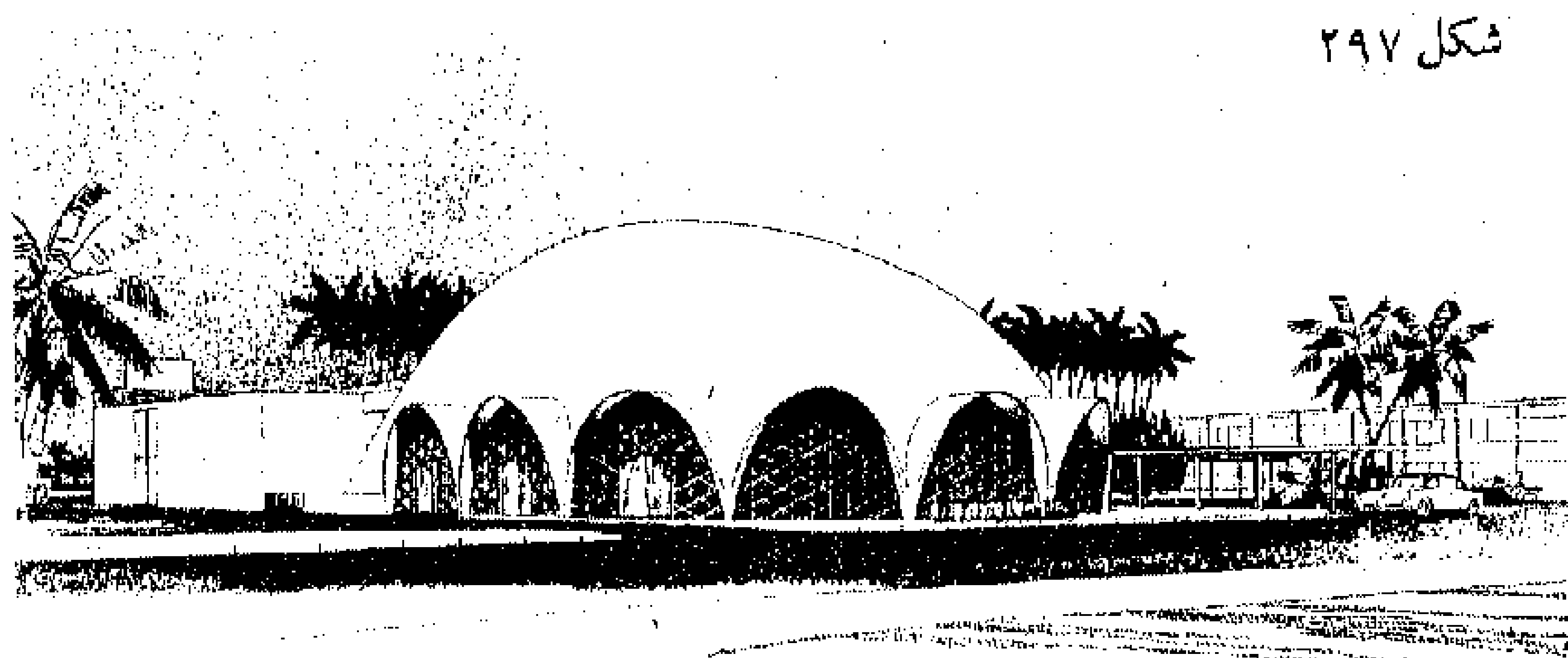
شكل ٢٩٥



شكل ٢٩٦



شكل ٢٩٧



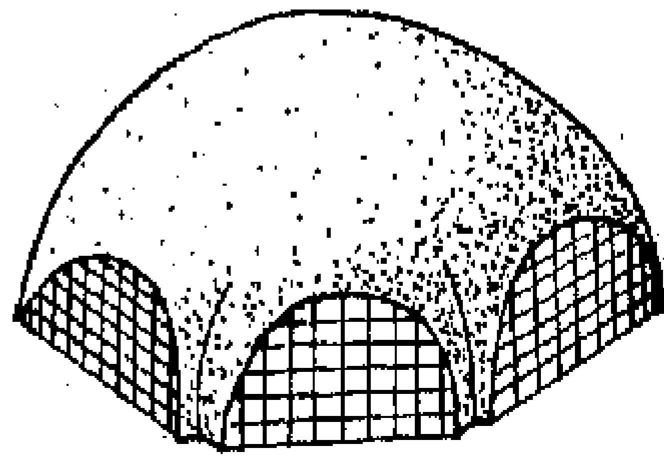
التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء — القطاعات

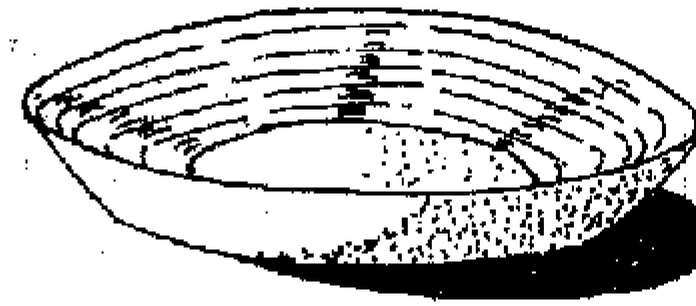
(شكل ٢٩٣ و ٢٩٤) منازل بقطر ٣٠ قدماً فى هوب ساوند بفلوريدا سنة ١٩٦٤ (المهندس المعمارى اليوت نويز).

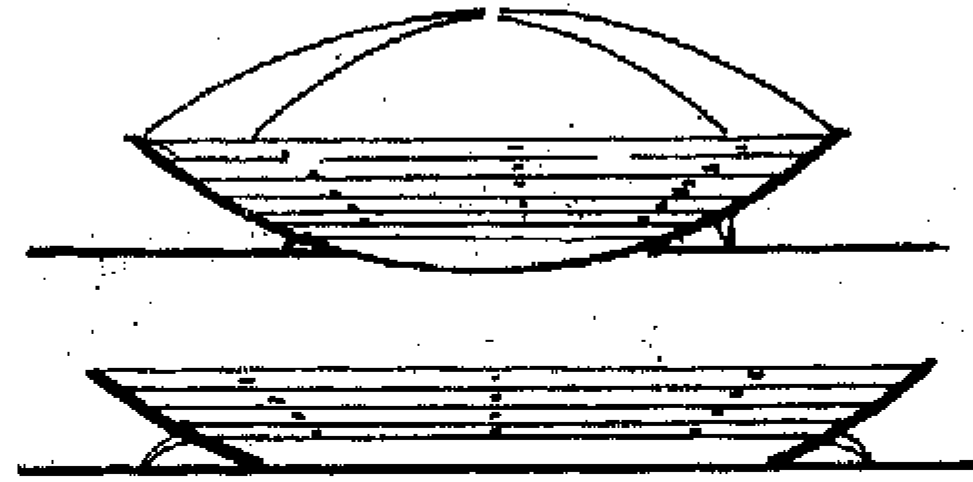
(شكل ٢٩٥) مسقط لمنزل هوب ساوند .

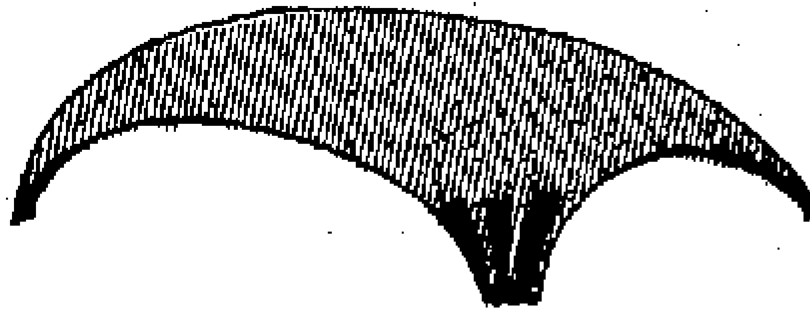
(شكل ٢٩٦) مشروع لمدرسة (المهندس المعمارى اليوت نويز)

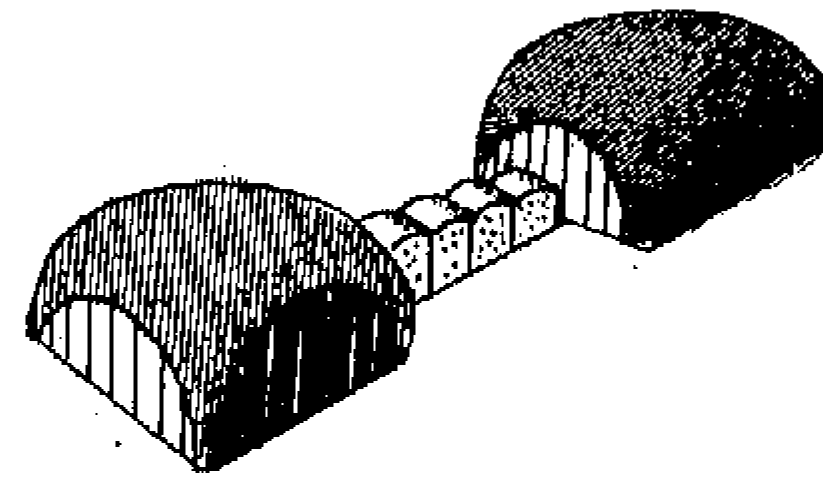
(شكل ٢٩٧) معبد بيت شولوم فى ميامى بفلوريدا (المعمارى برسيڤال جودمان والإنشائيون أمان وويتنى)


شكل ٢٩٨

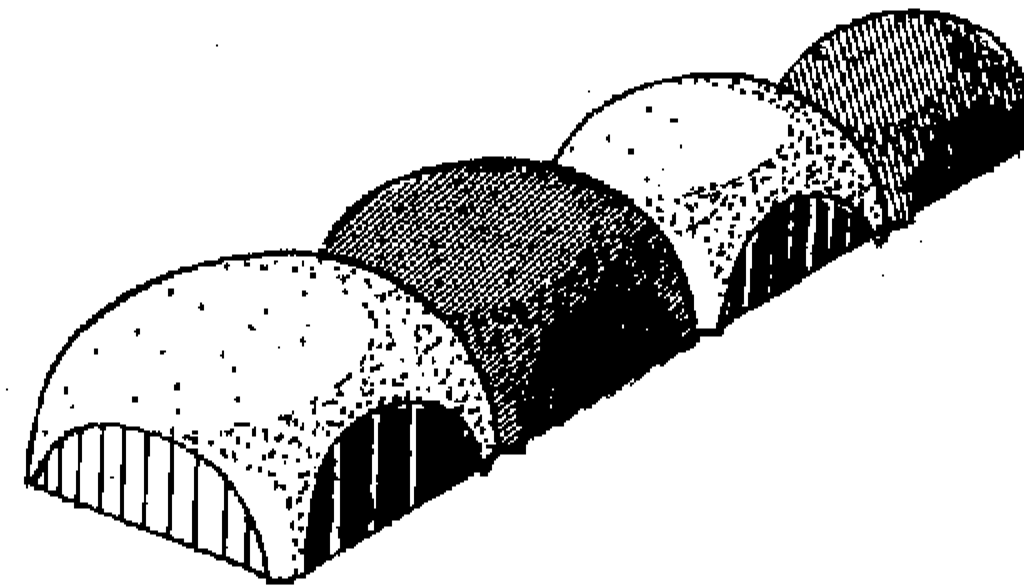

شكل ٢٩٩



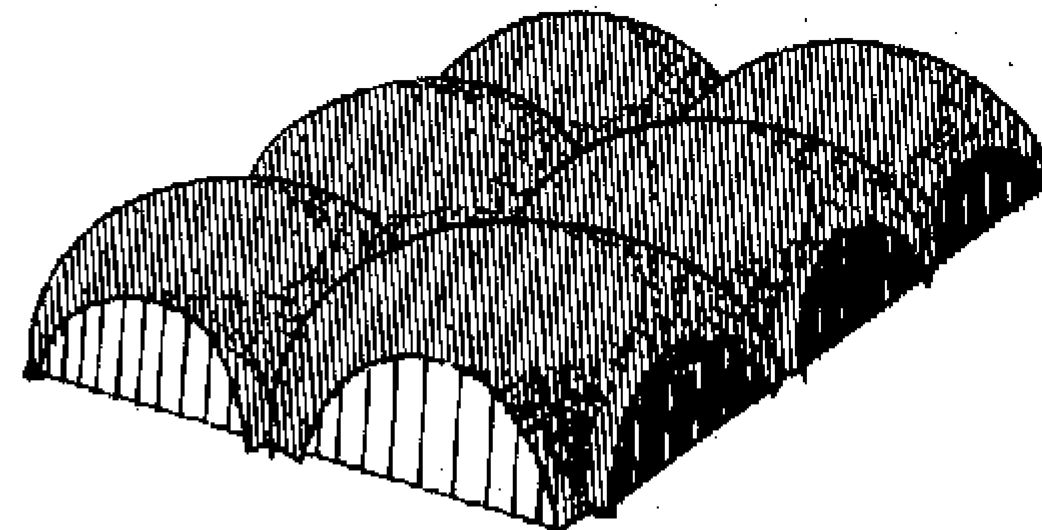

شكل ٣٠٠






شكل ٣٠١

التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء القطاعات والتجميعات



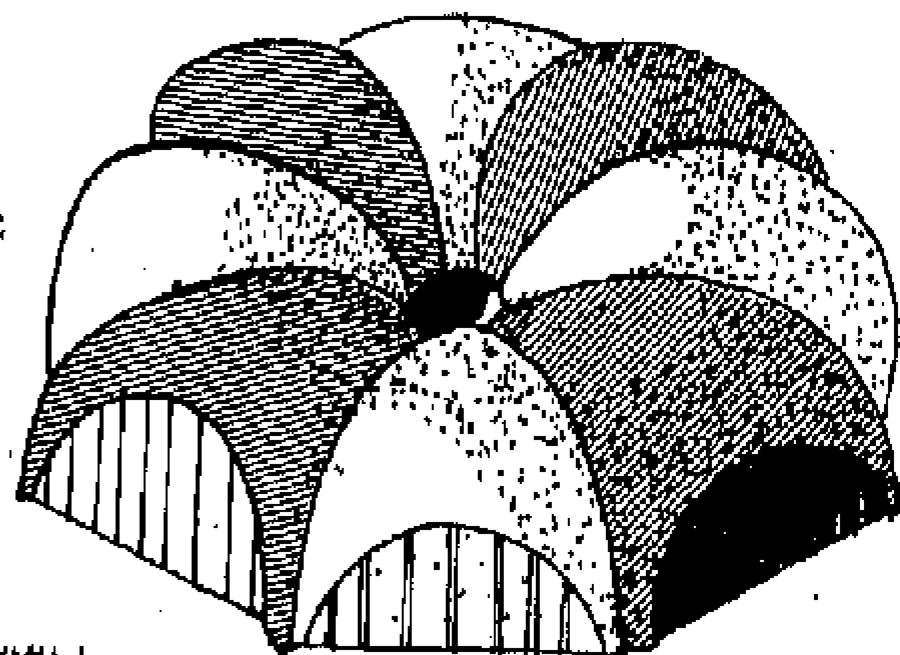
(شكل ٢٩٨) قبة بقطاعات لتغطية مساقط مضلعة.

(شكل ٢٩٩) قباب مقلوبة كاملة ومقطوعة للأستاذ المكشوف.

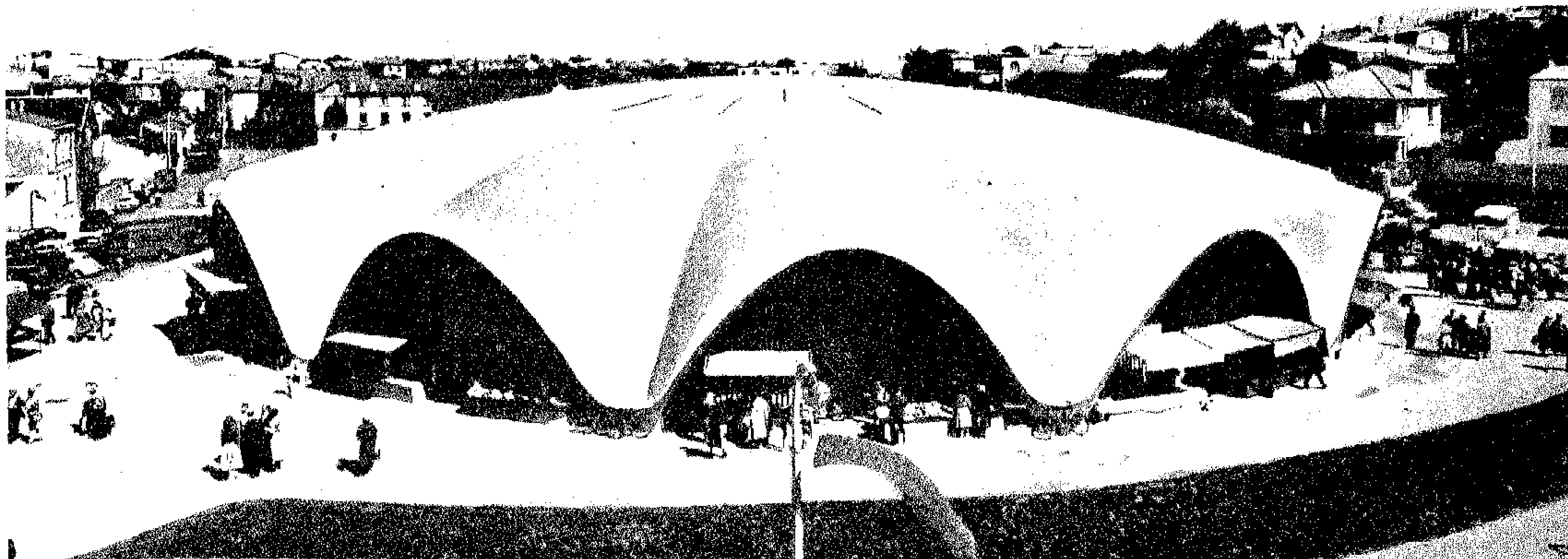
(شكل ٣٠٠) سقف قشرى دورانى بقطاعات مع تقوية الأركان.

(شكل ٣٠١) تجميعات على باكيات مربعة متكررة.

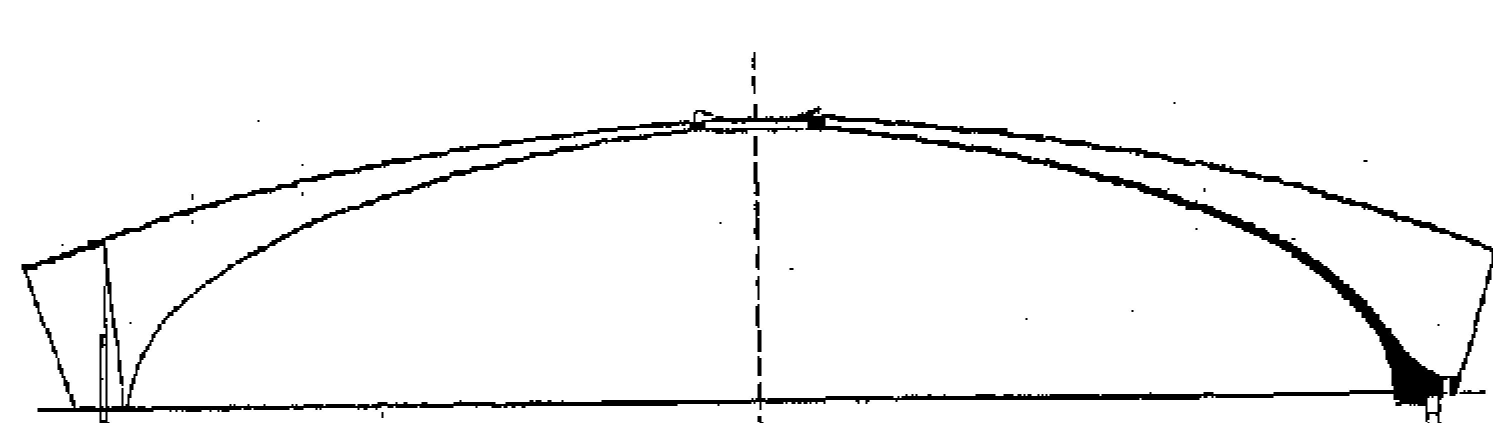
(شكل ٣٠٢) تجميعات على مساقط متعددة الأضلاع.

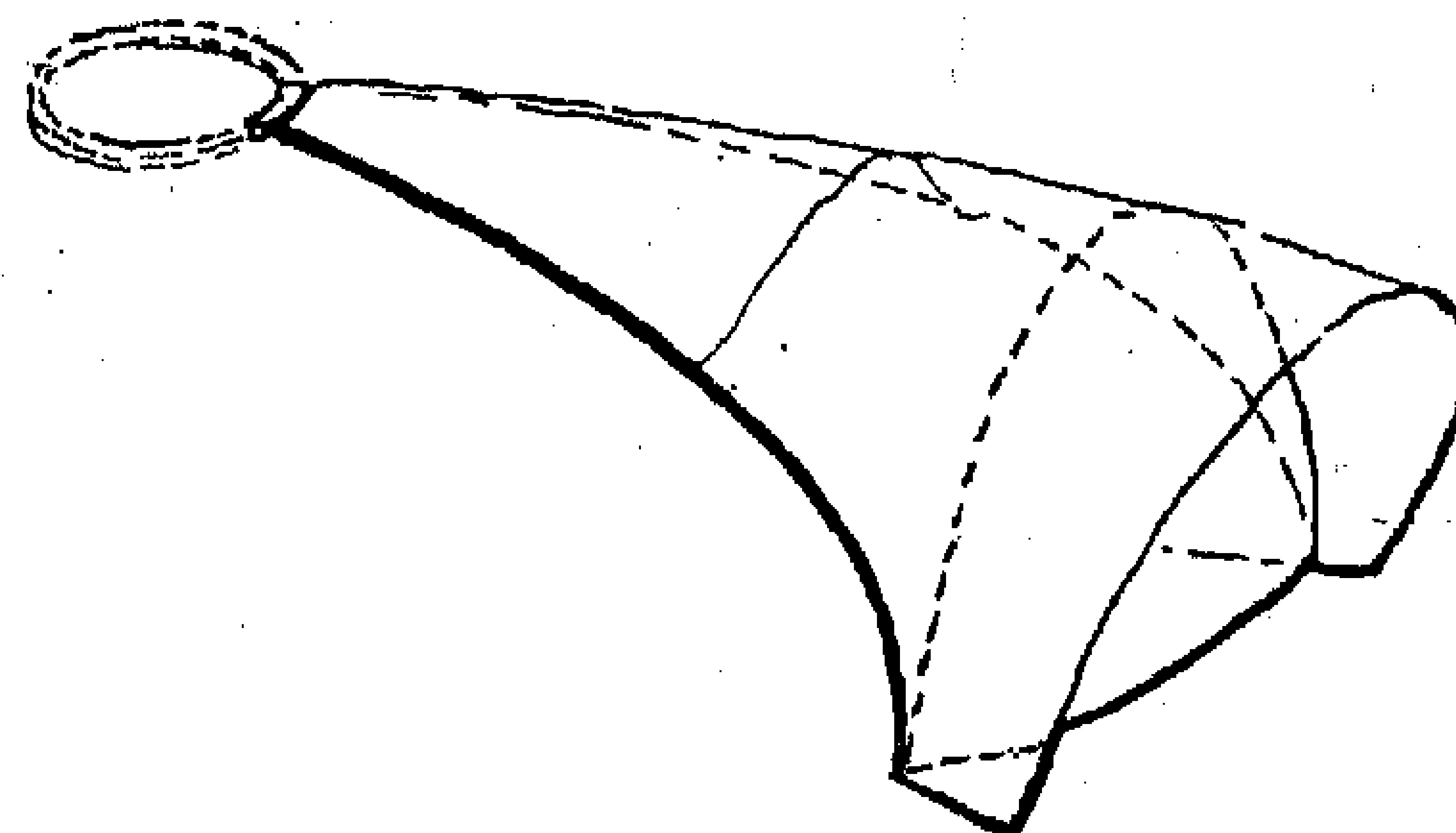

شكل ٣٠٢

شكل ٣٠٣

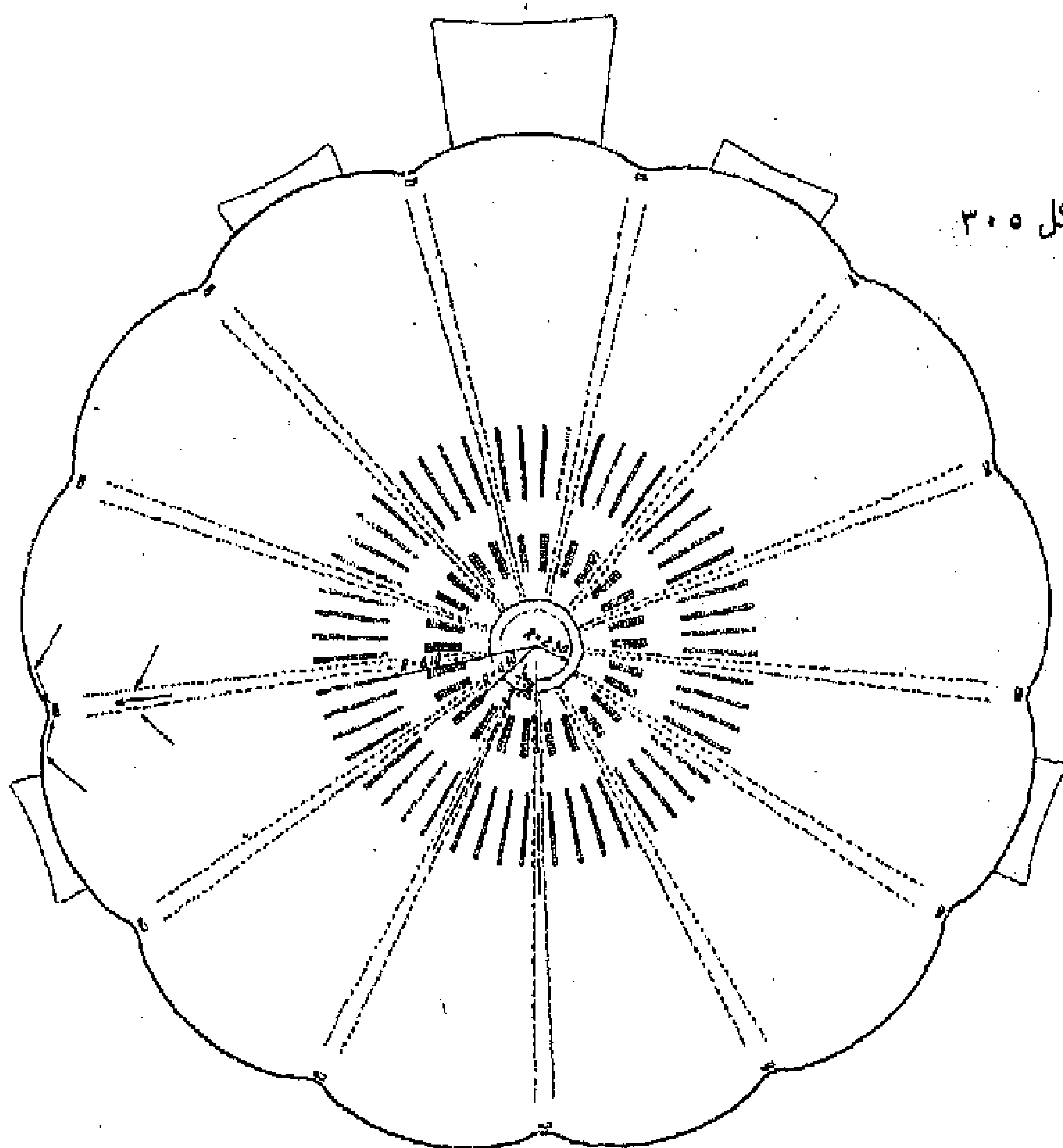


شكل ٣٠٤





شكل ٣٠٥



التكوينات مزدوجة الإنحناء – تجميعات وحدات

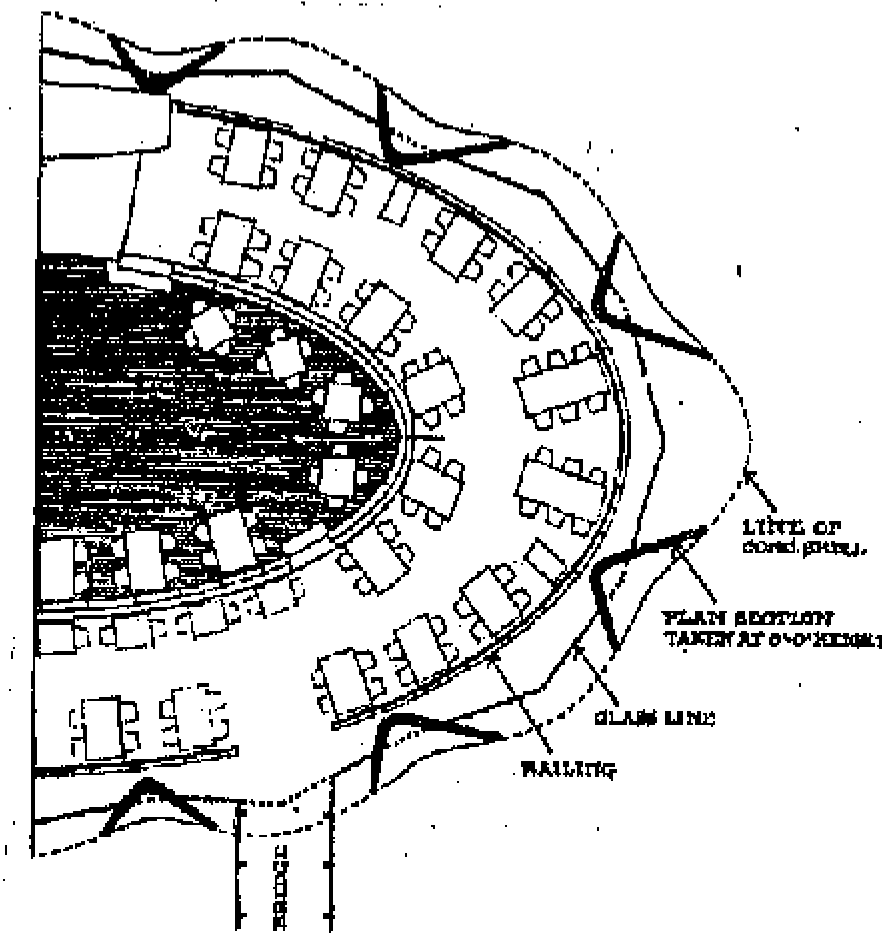
صالة سوق رويان – بفرنسا

(شكل ٣٠٣) صالة السوق من ثلاث عشرة وحدة مزدوجة الانحناء على مسقط دائرى بقطر ١٧٢ قدما .

(شكل ٣٠٤) قطاع بالصالة وتفصيله لإحدى الوحدات .

(شكل ٣٠٥) مسقط أفقي للسقف .

شكل ٣٠٦



شكل ٣٠٧

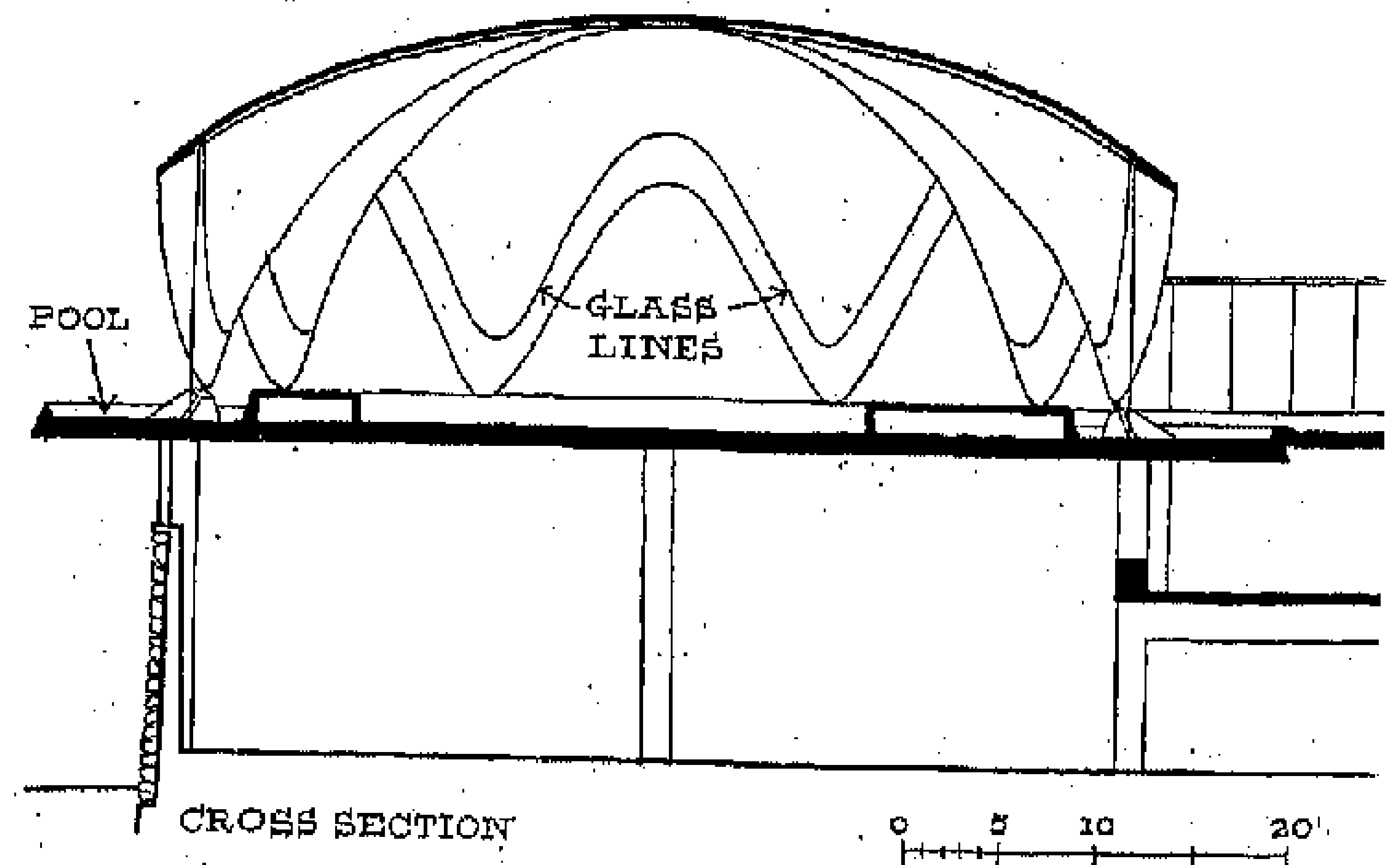
التكوينات مزدوجة الانحناء المموجة

نادى العشاء فى لوكاندة لوكونشا فى سانتورس ببورتوريكو

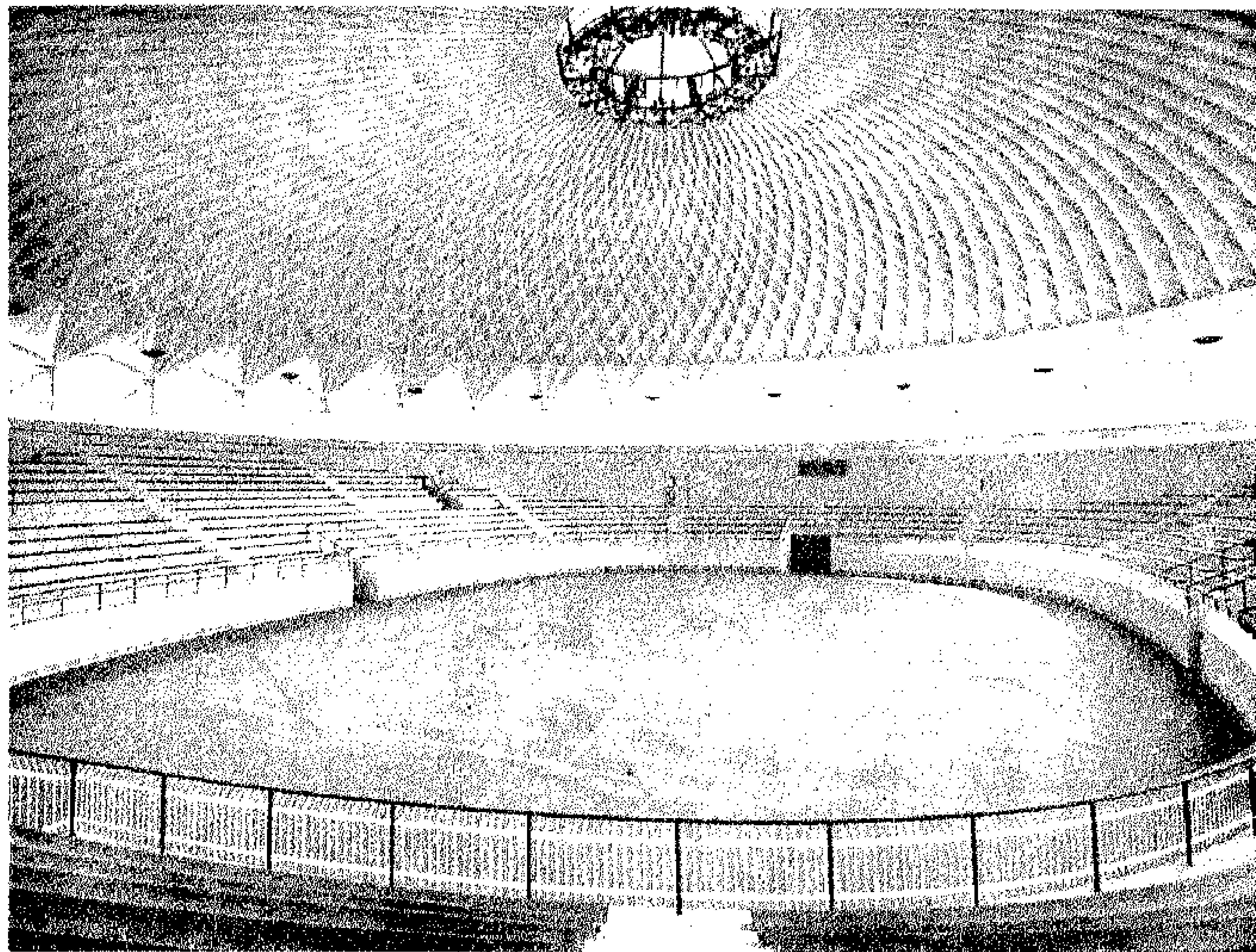
(شكل ٣٠٦) الصدفة المموجة من تصميم المعماريين (تورو وفيرر ووارنر والإنشائيين سلفادورى وويدلنجر)

(شكل ٣٠٧) مسقط نصفى للصالة .

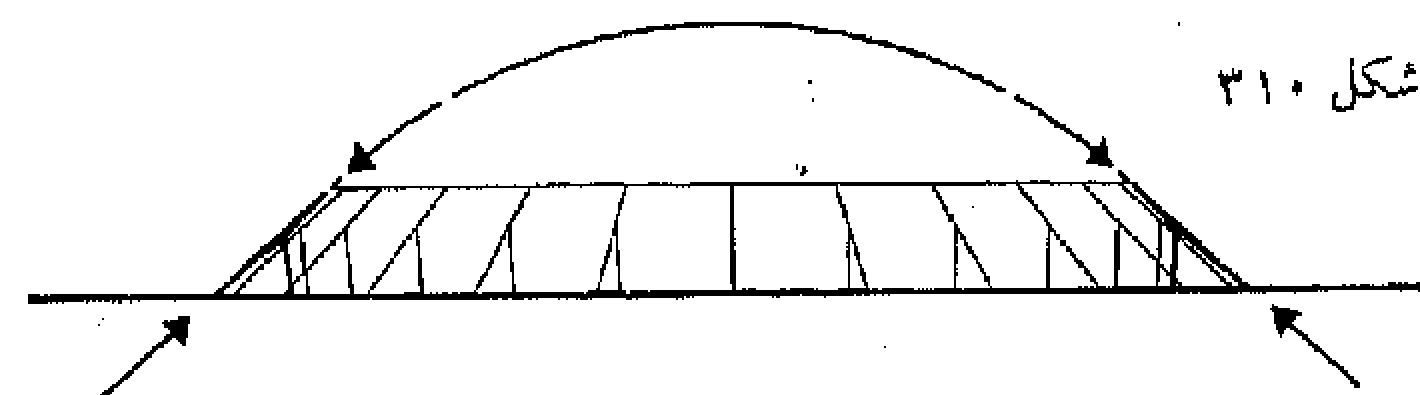
(شكل ٣٠٨) قطاع عرضى .



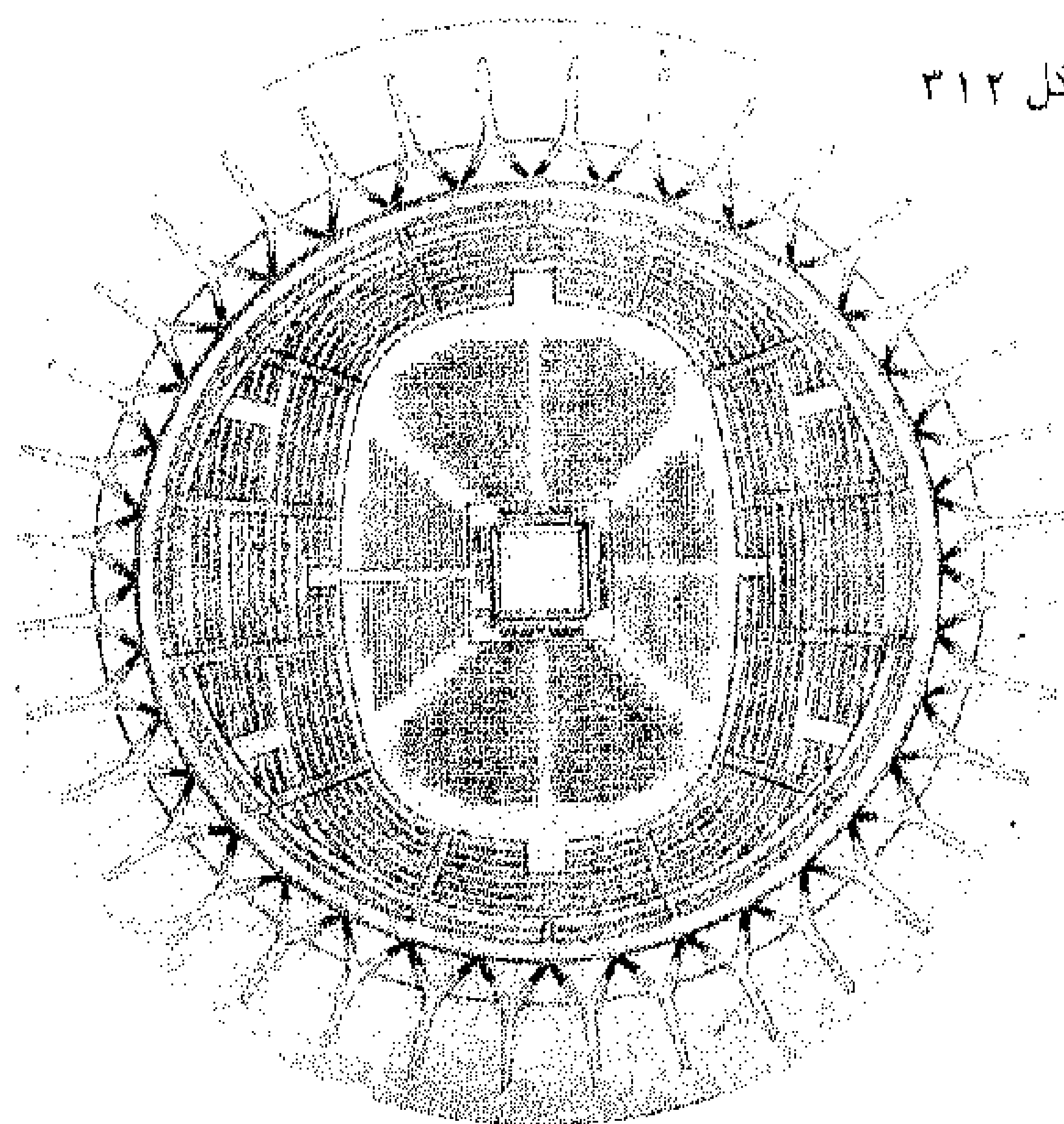
شكل ٣٠٨



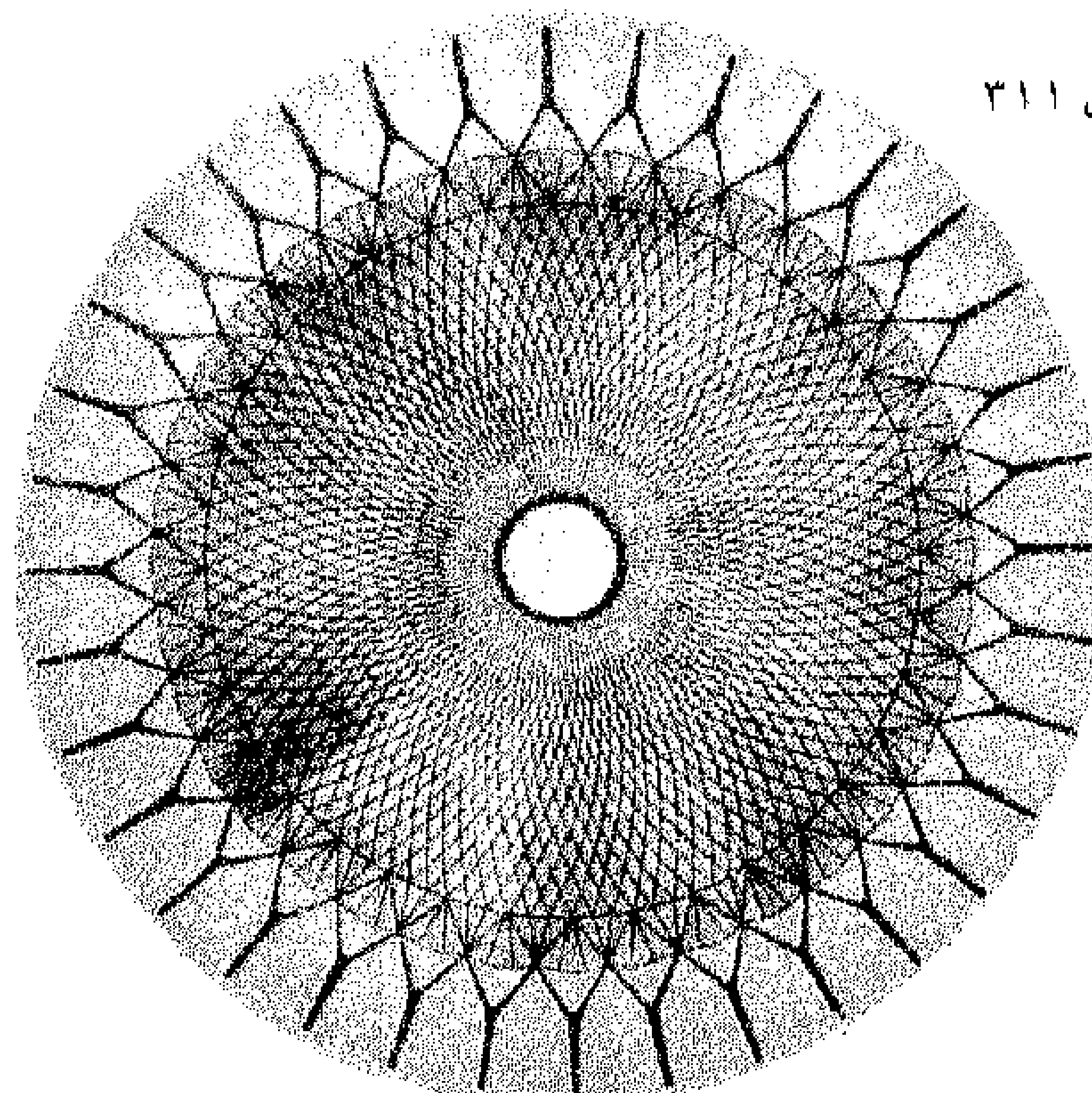
شكل ٣٠٩



شكل ٣١٠



شكل ٣١٢

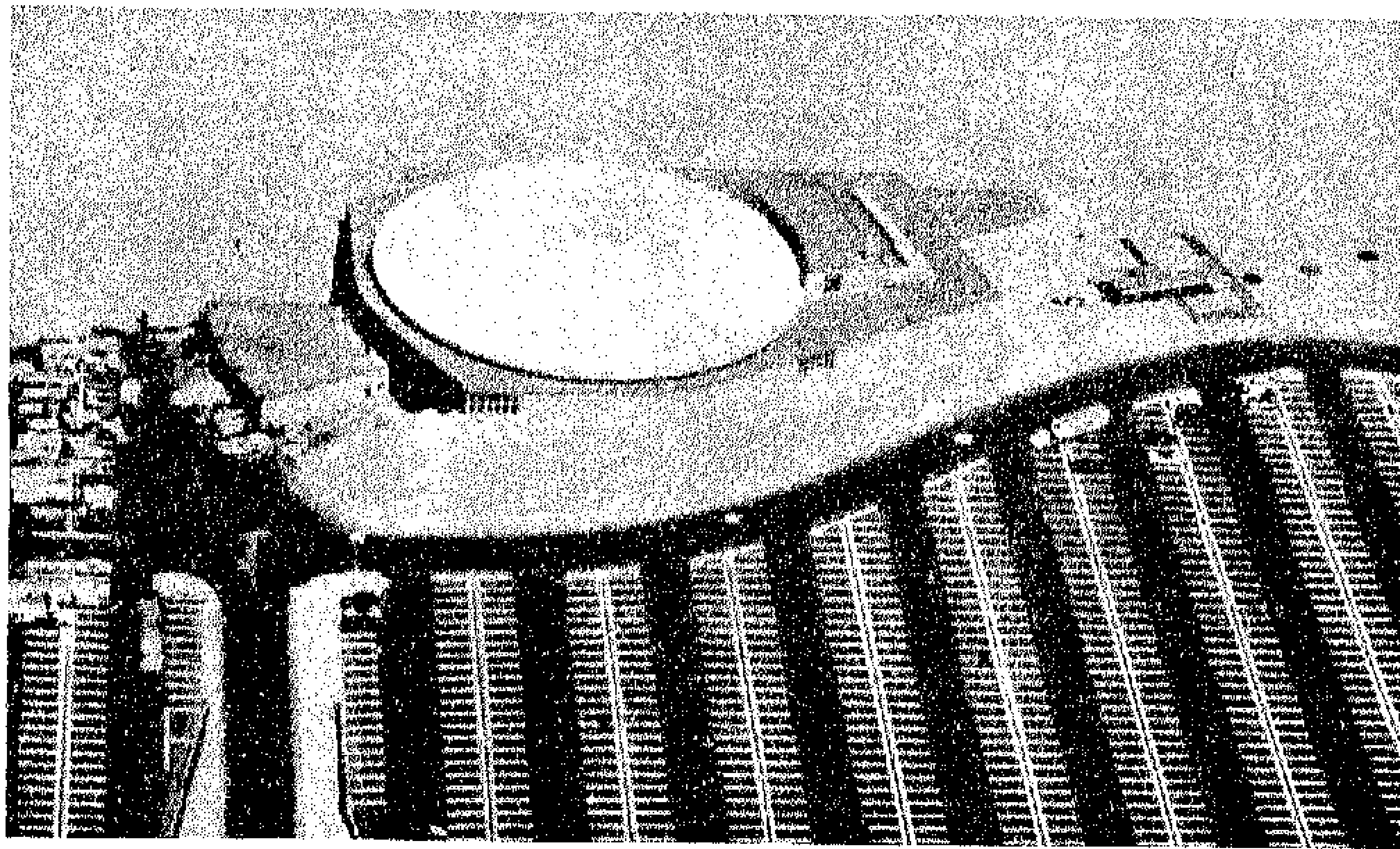


شكل ٣١١

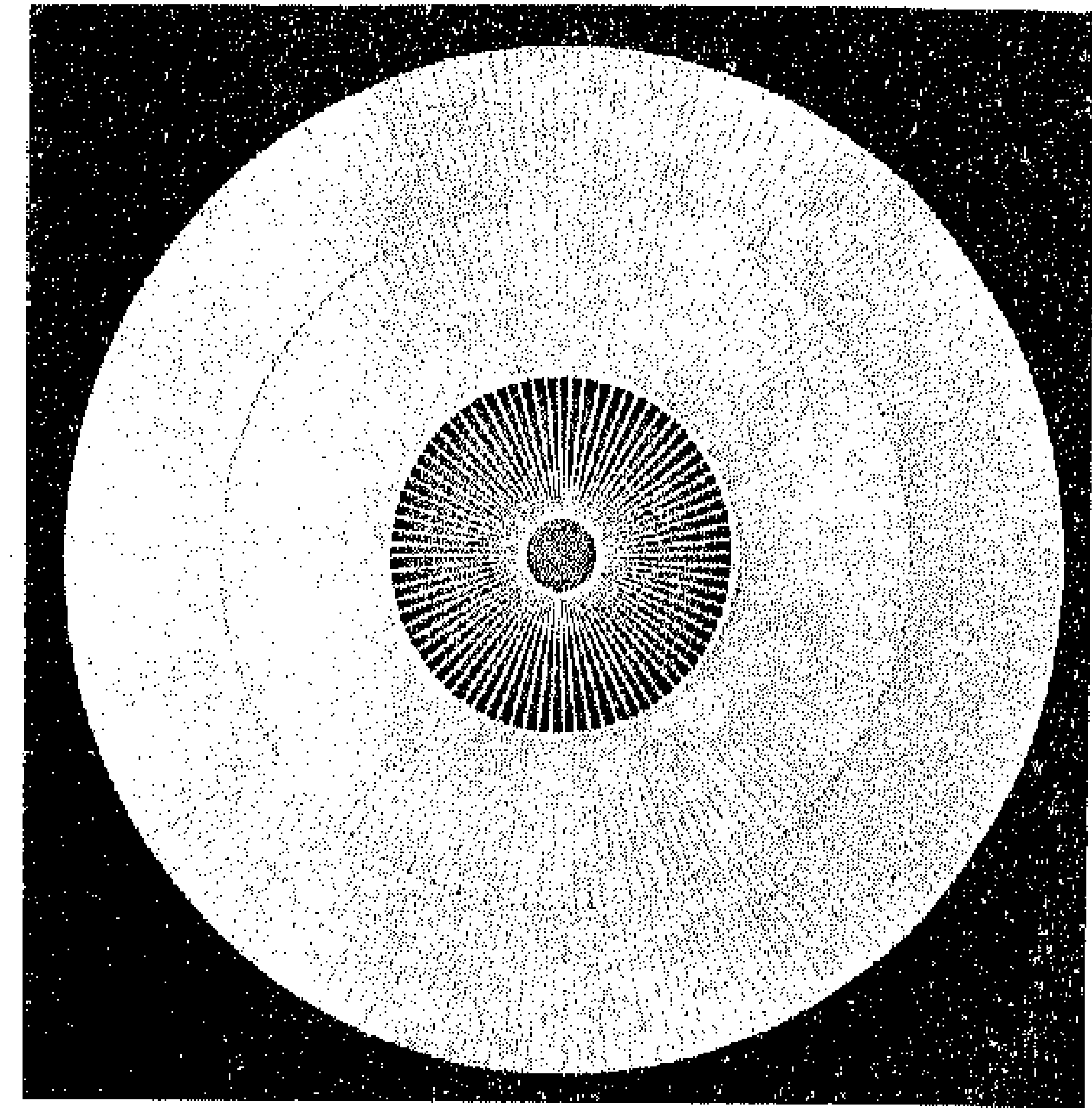
التكوينات الدورانية مزدوجة الانحناء – رفعها على أعمدة

قصر الرياضة الصغير بروما – المعمارى فيتيلوزى والإنشائى نيرفى

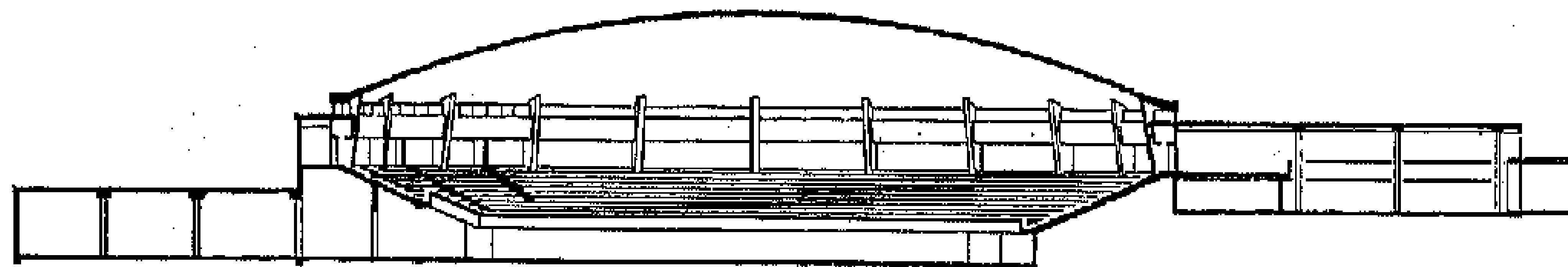
(شكل ٣٠٩) منظور داخلى للصالة .
(شكل ٣١٠) قطاع .
(شكل ٣١١) مسقط للسقف وأعصابه وأعمدته المائلة .
(شكل ٣١٢) مسقط أفقى للصالة مبينا ترتيب المقاعد لحفلات الملاكمة والمصارعة .



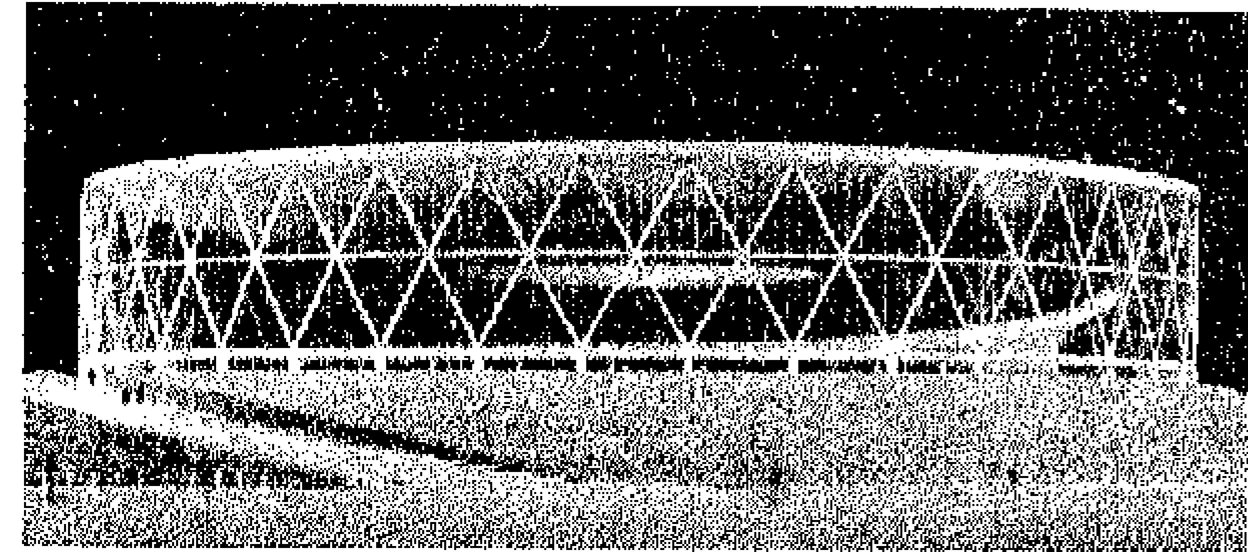
شكل ٣١٣



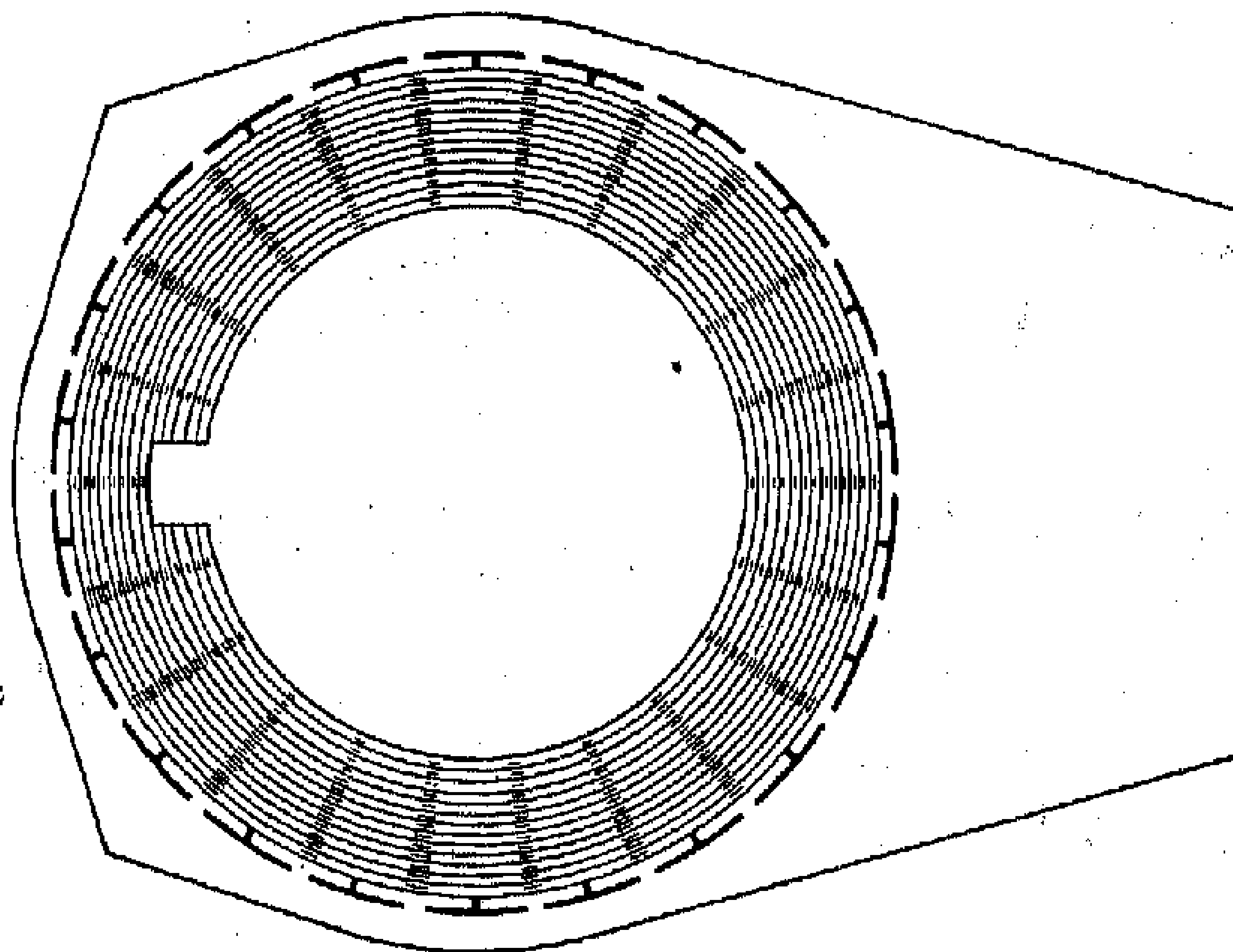
شكل ٣١٦



شكل ٣١٤



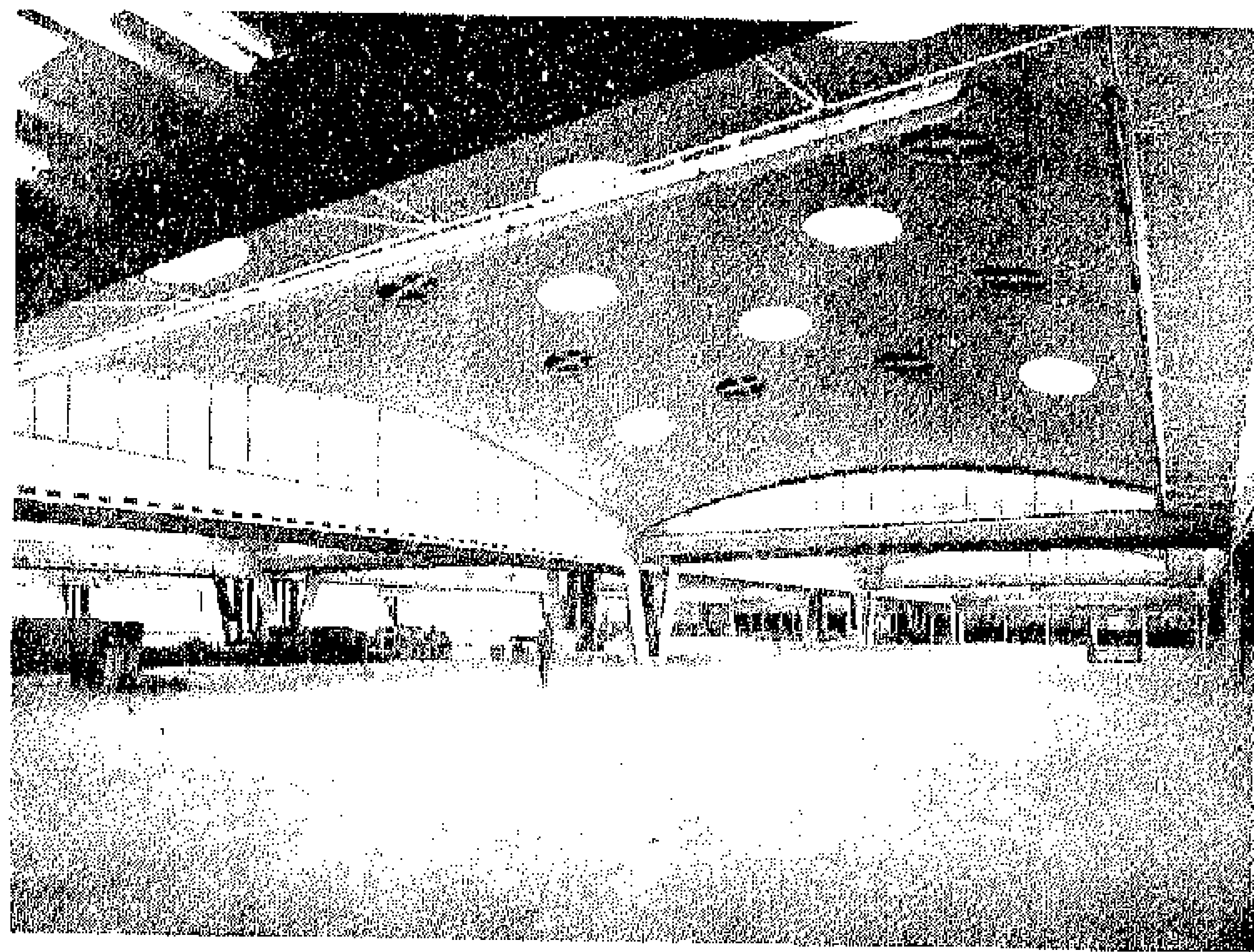
شكل ٣١٧



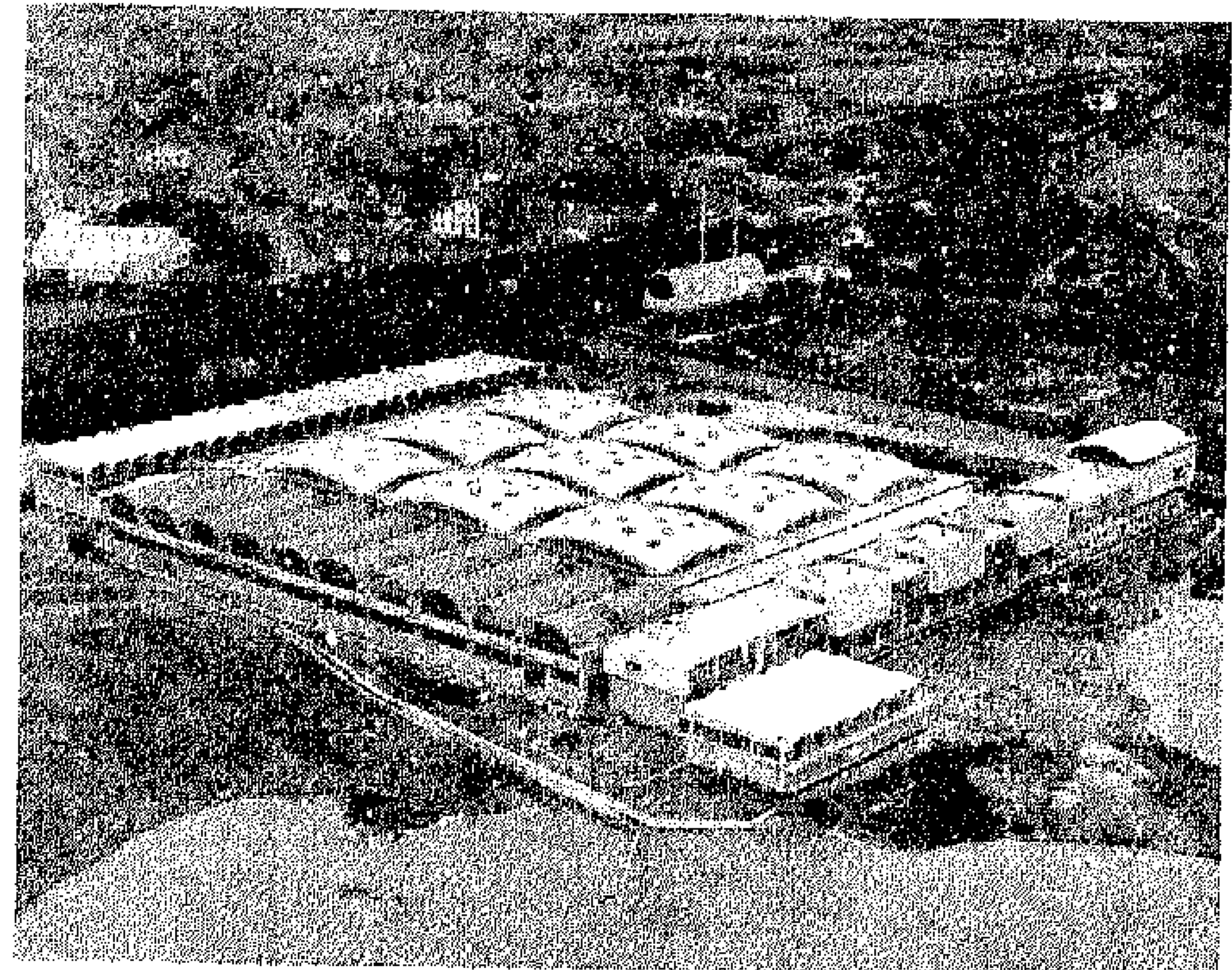
شكل ٣١٥

تكوينات دورانية مزدوجة الانحناء — رفعها على أعمدة

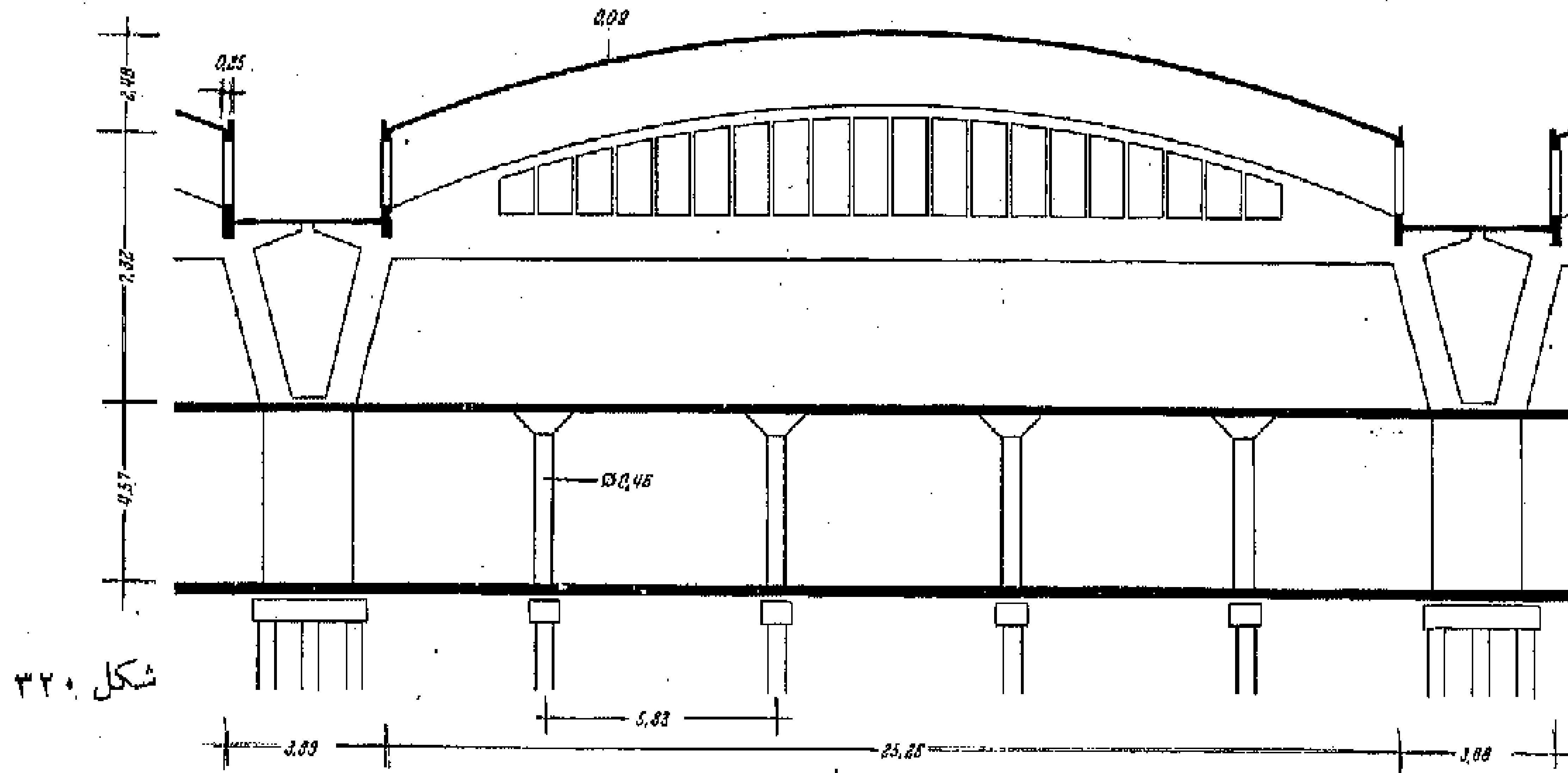
(شكل ٣١٣) صالة الاجتماعات بمدينة البكرك بولاية نيومكسيكو— منظور جوى .
(شكل ٣١٤) قطاع بالصالة مبينا القبة ذات حلقة الانضغاط المحيطية والأعمدة الرأسية الحاملة .
(شكل ٣١٥) مسقط أفقى .
(شكل ٣١٦) قبة مقلوبة على أعمدة بقطر ٤٢٠ قدما فى الحلقة الجديدة بمدينة أوكلند بكاليفورنيا .
(شكل ٣١٧) منظور خارجى للقاعة .



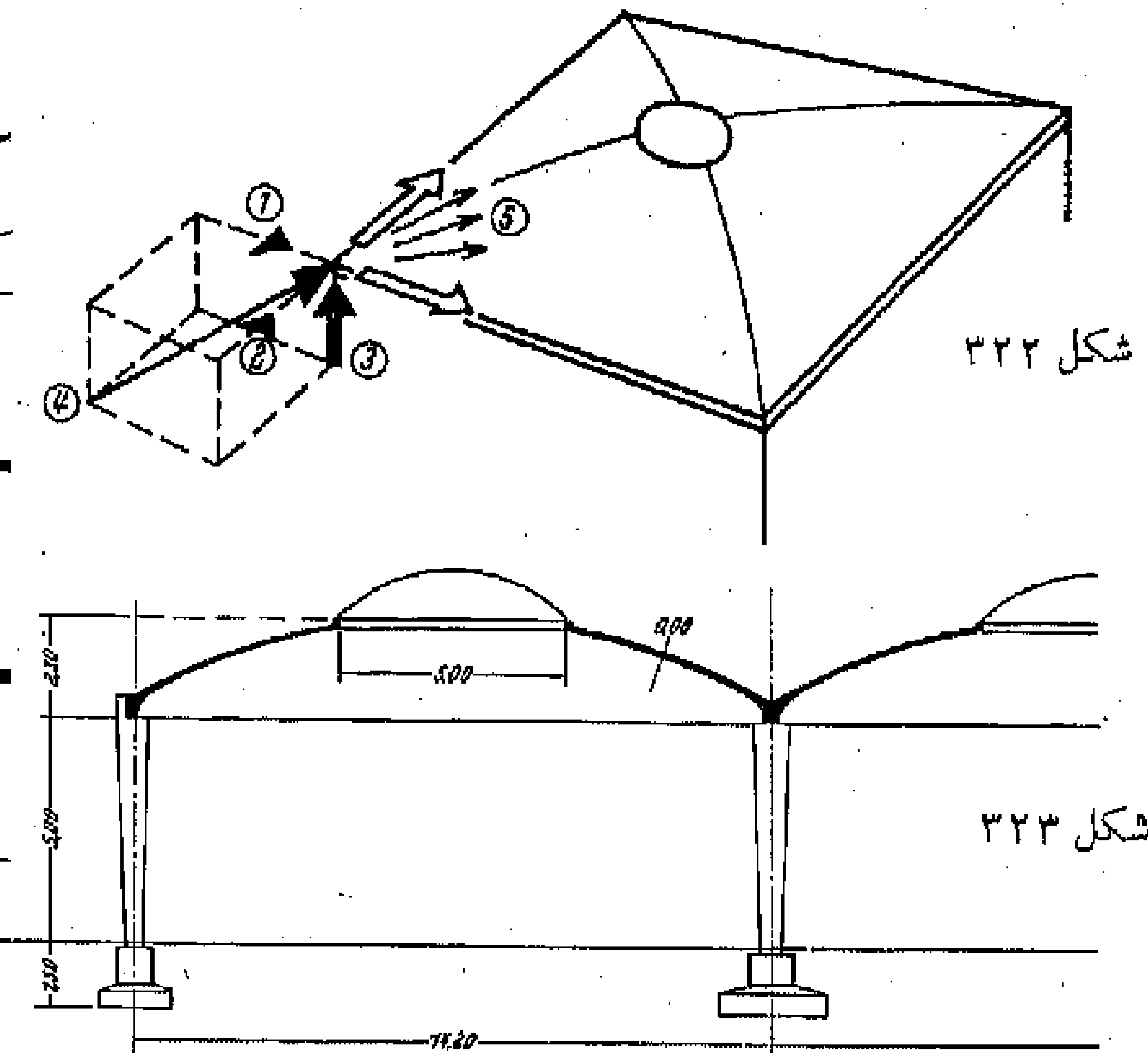
شكل ٣١٨



شكل ٣١٩

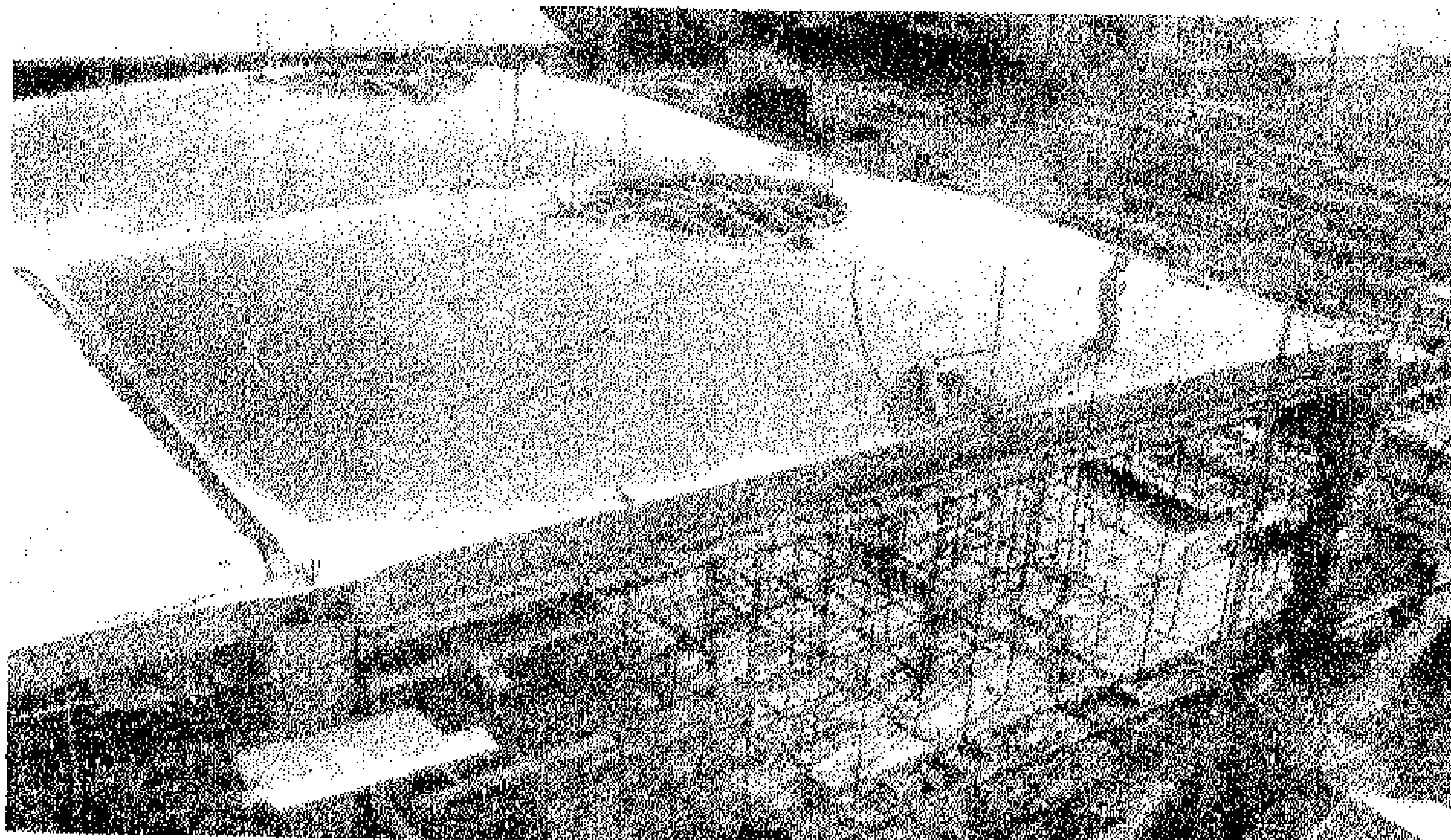


شكل ٣٢٠



شكل ٣٢٢

شكل ٣٢٣



وحدات مزدوجة الانحناء على أعمدة

مصانع انفيلد بمدينة برنما ور بولاية ويلز الجنوبية بإنجلترا (المعماريون أوف أرب وشركاه)

(شكل ٣١٨) منظور داخلى .

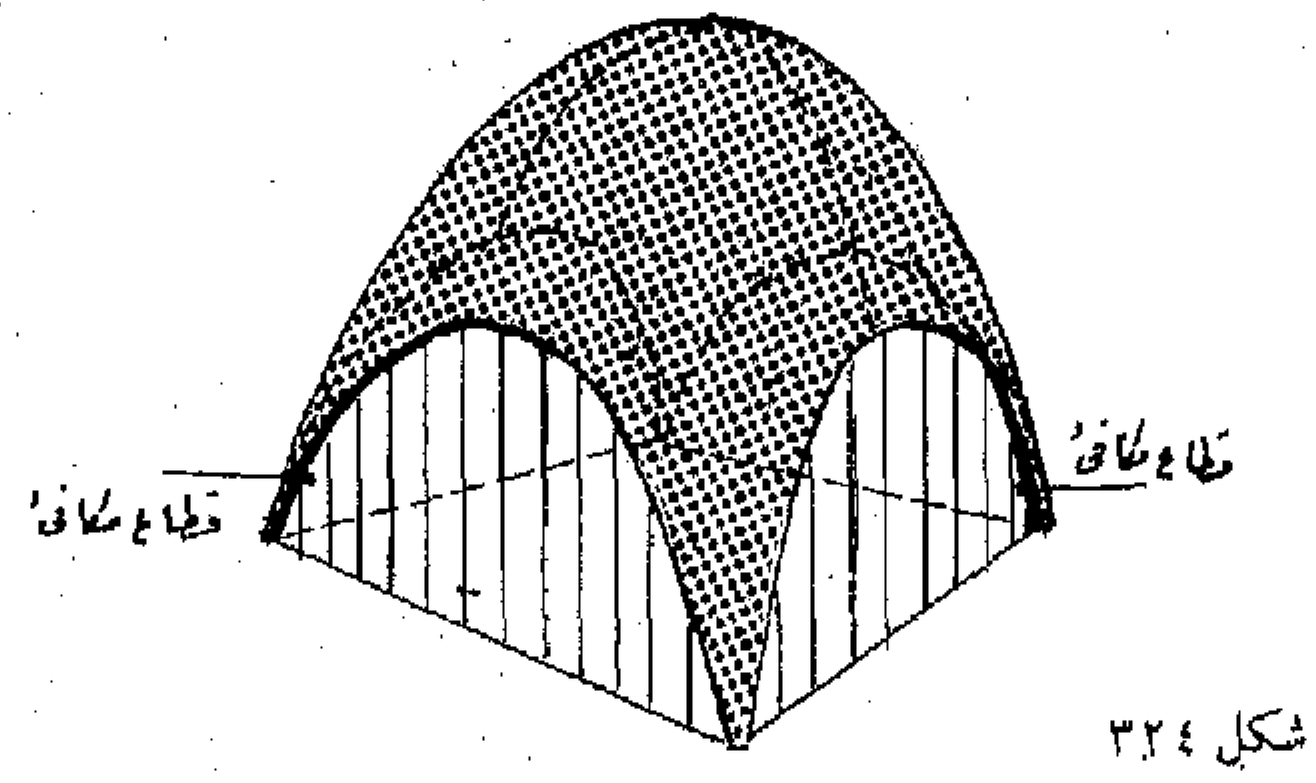
(شكل ٣١٩) منظر خارجى للقباب بفتحاتها الجانبية والدائرية .

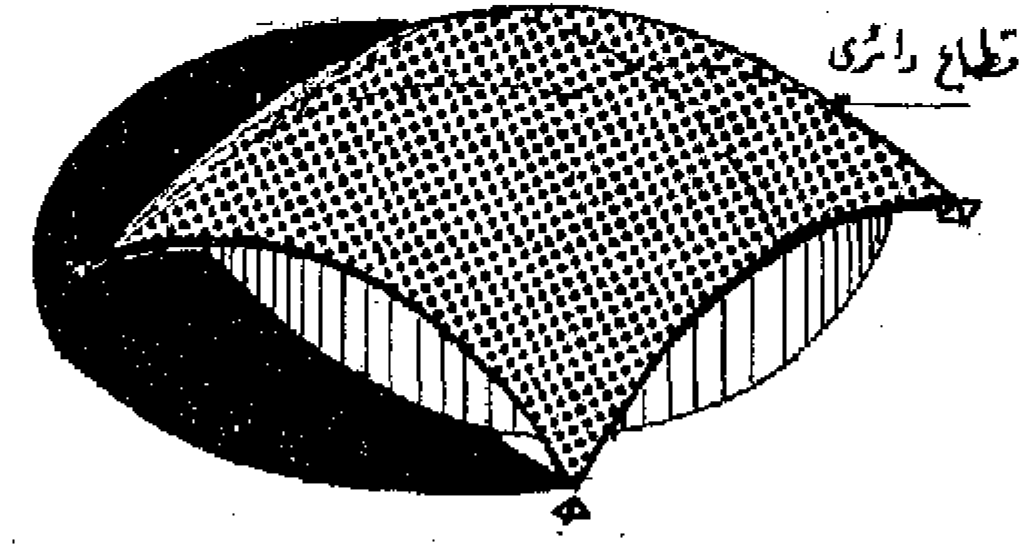
(شكل ٣٢٠) قطاع .

(شكل ٣٢١) صالة الإنتاج فى مصانع إشمان فى مدينة ثون بسويسرا .

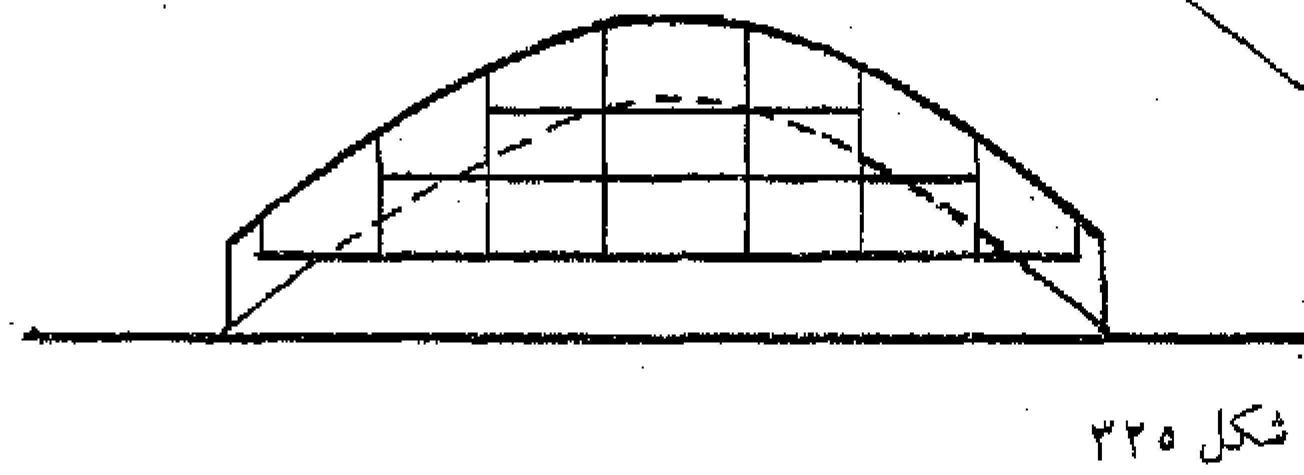
(شكل ٣٢٢) منظور للوحدة .

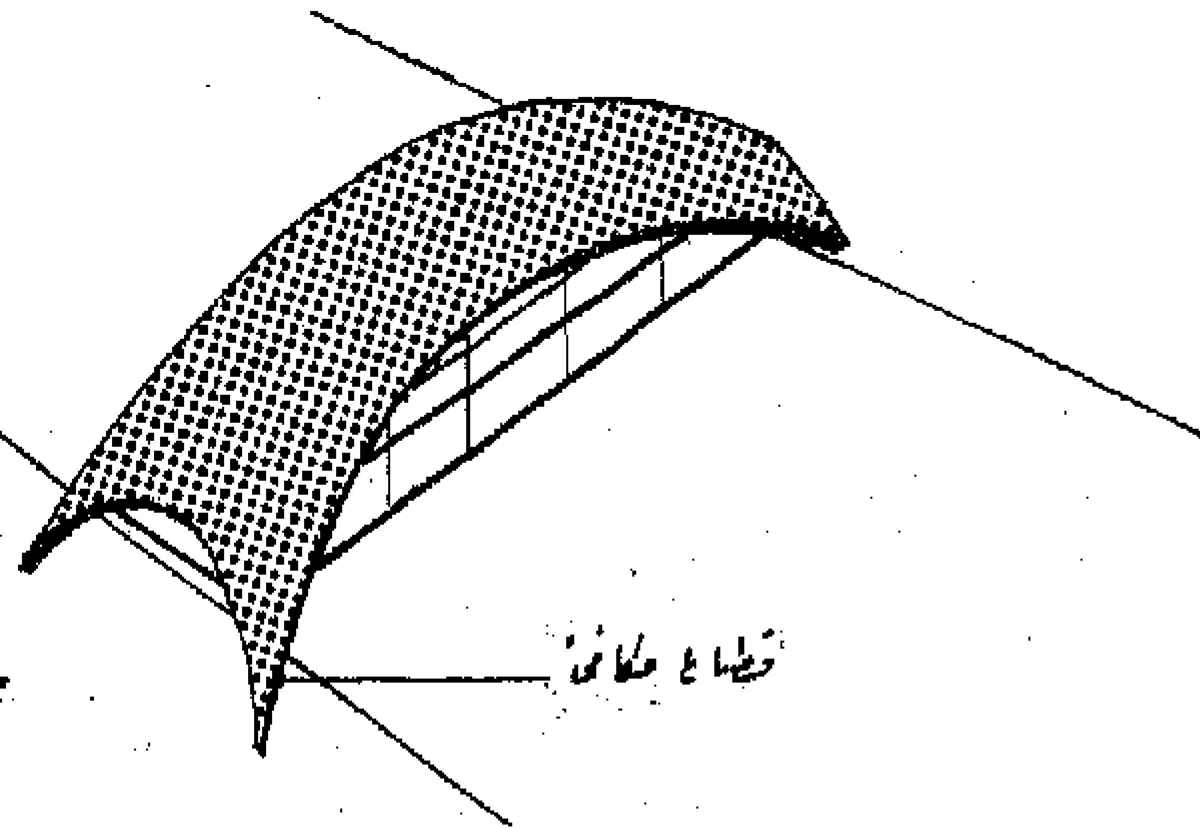
(شكل ٣٢٣) قطاع .





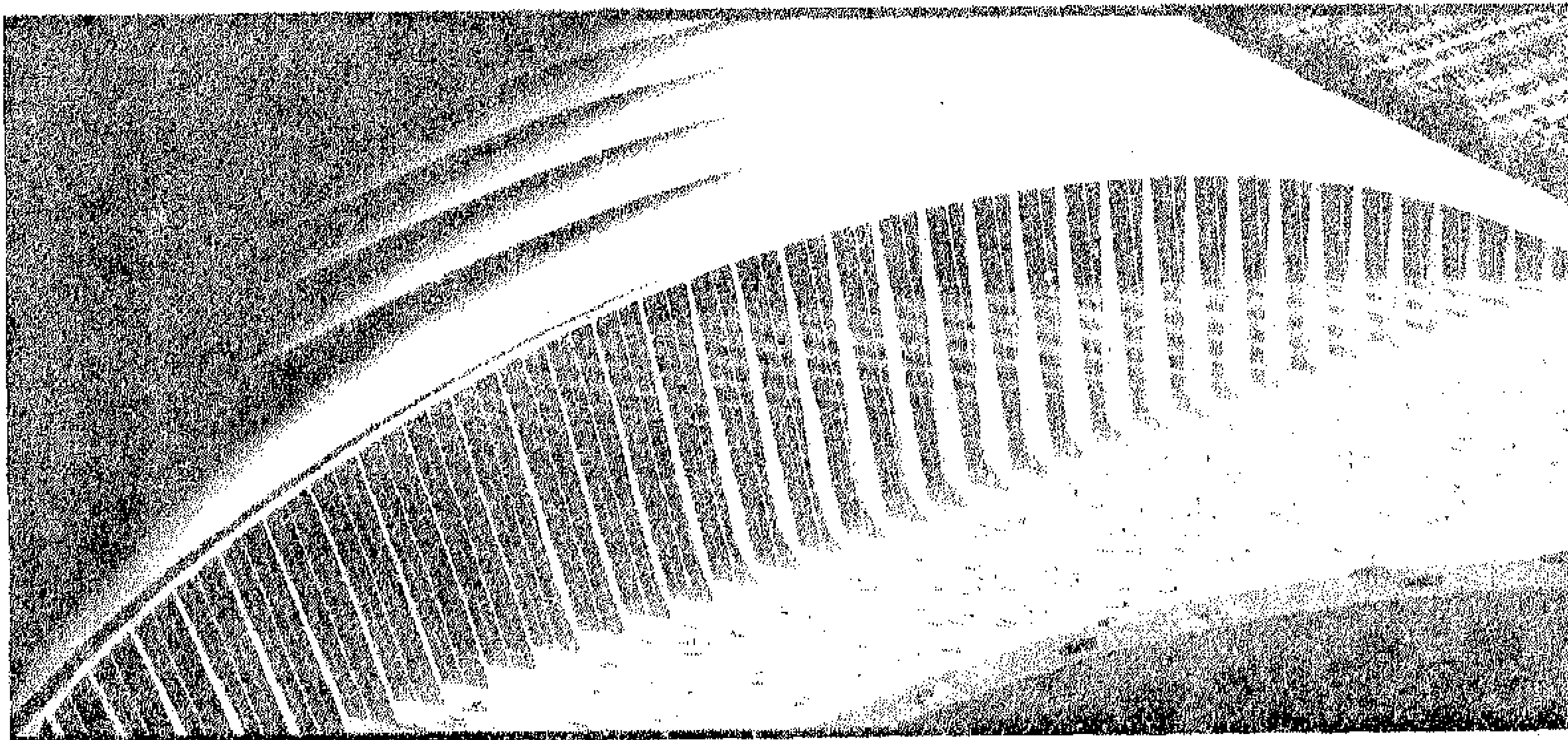
شكل ٣٢٤





شكل ٣٢٥

شكل ٣٢٦



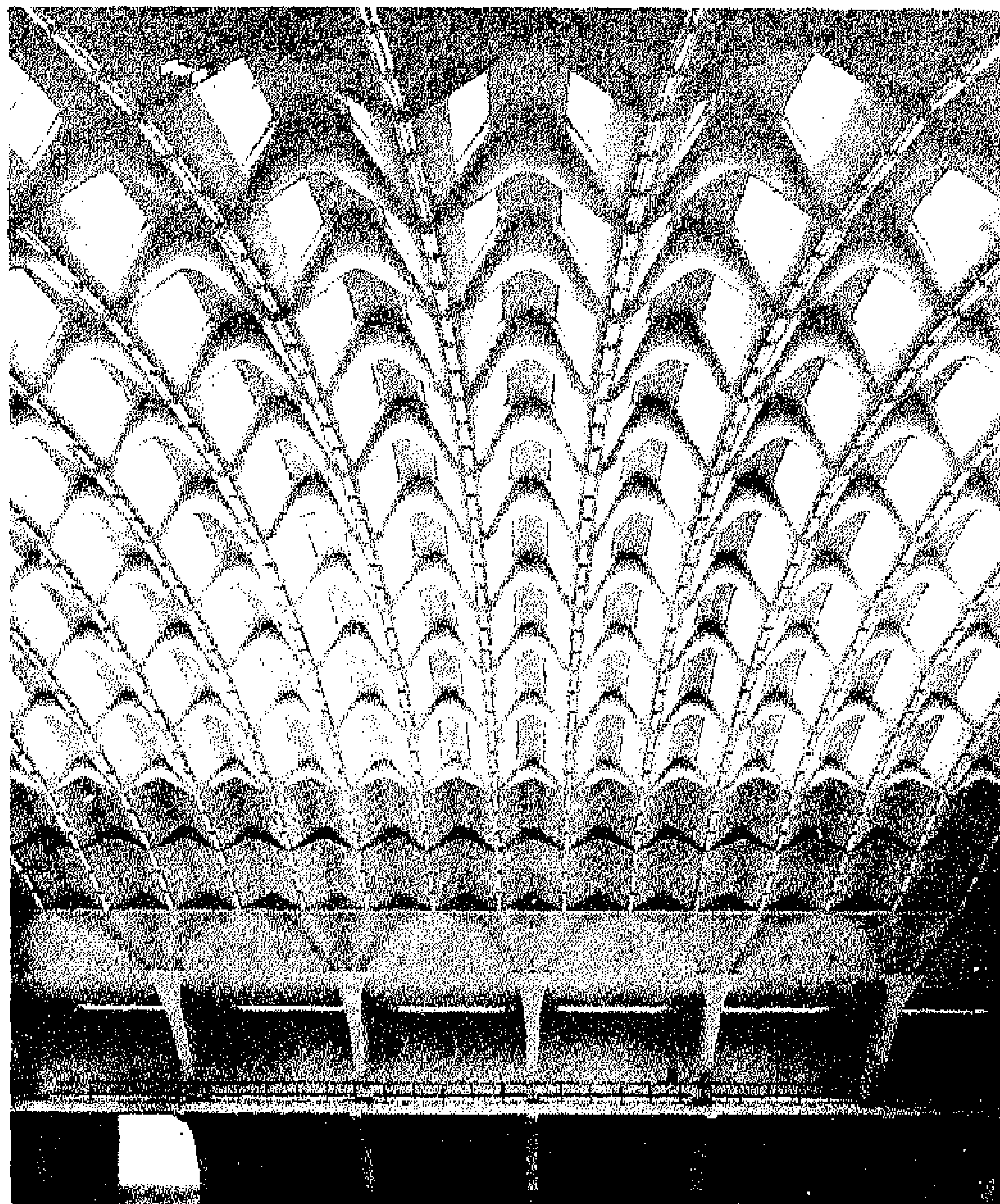
وحدات انتقالية مزدوجة الانحناء

(شكل ٣٢٤) وحدات انتقالية على مساقط مربعة (قطاع مكافئ أو دائرى يتحرك على آخر).

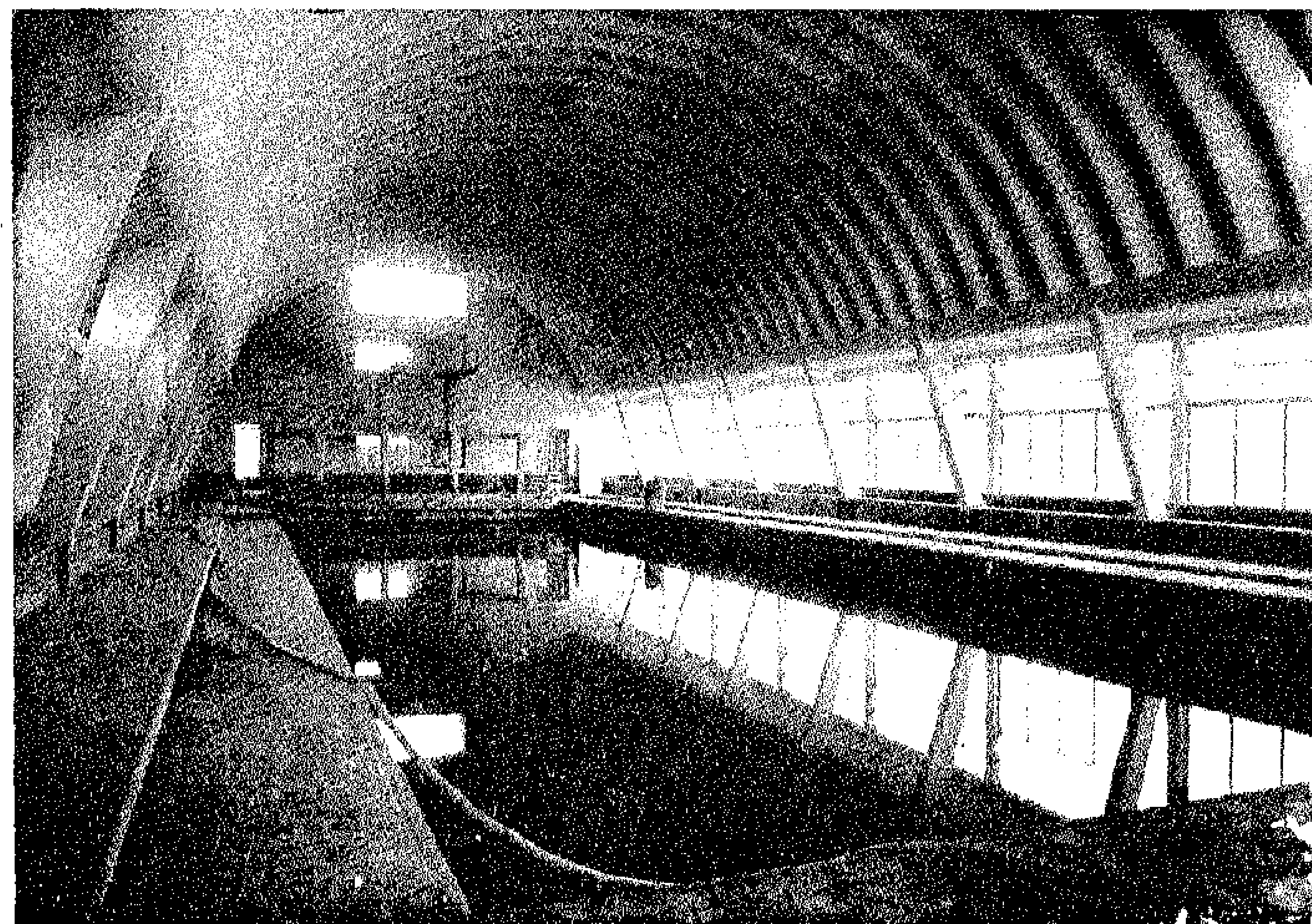
(شكل ٣٢٥) وحدات انتقالية على مساقط مستطيلة (قطاع مكافئ أو دائرى على قطاع مكافئ).

(شكل ٣٢٦) مشروع بلنر وأندرسون لسقف ذو بحر ١٠٠٠ قدم لاستعماله لمعرض دولى بمدينة نيويورك.

شكل ٣٢٧



شكل ٣٢٨



وحدات انتقالية مزدوجة الانحناء — طويلة .

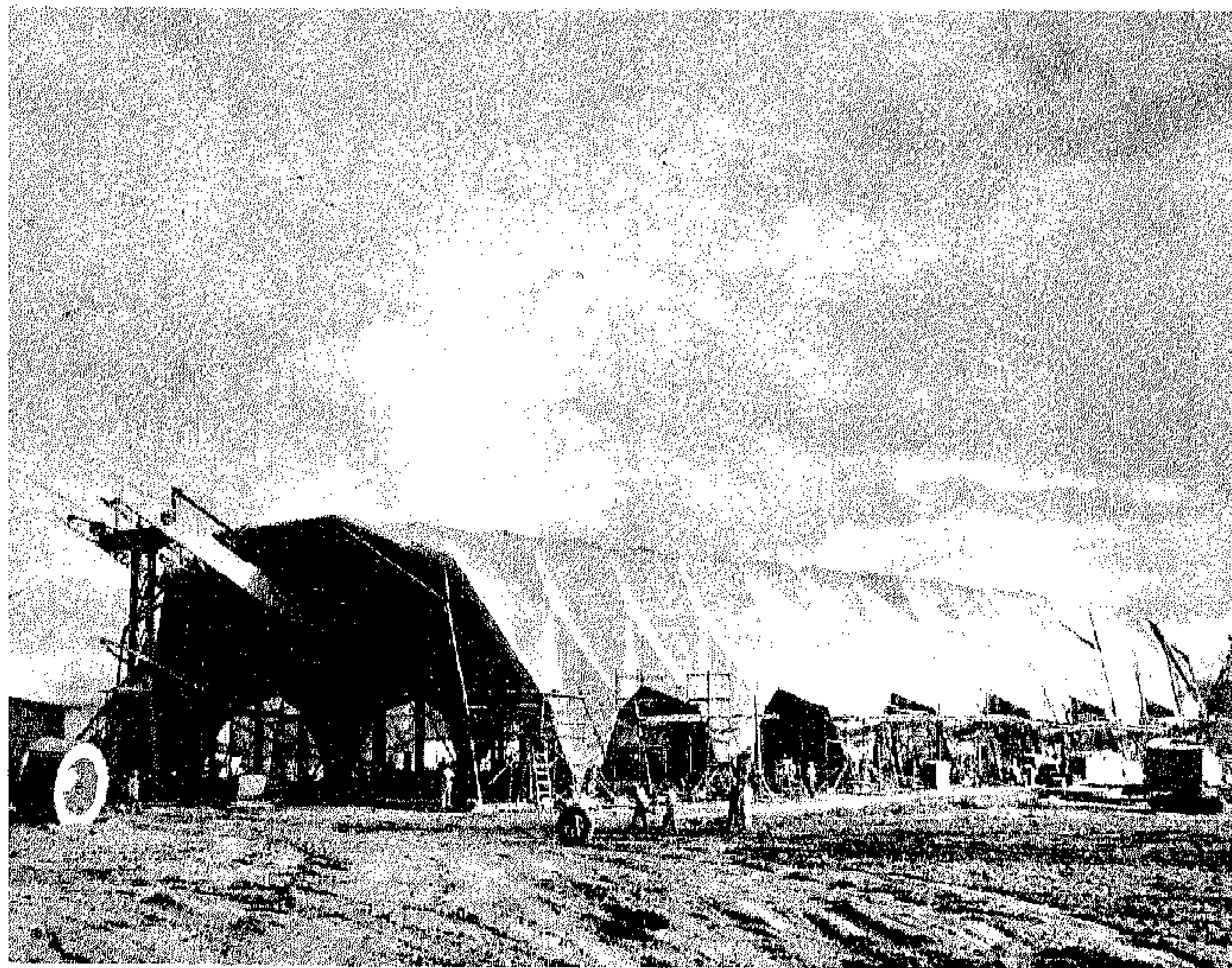
(شكل ٣٢٧) الصالة الرئيسية فى معرض تورينو بإيطاليا (المهندس المعمارى بسكاريتى والإنشائى بيير لويجى نيرفى .
(شكل ٣٢٨) حمام سباحة الأكاديمية البحرية فى لجهورن بإيطاليا — طريقة نيرفى .

وحدات منطبقة فى الاتجاهين

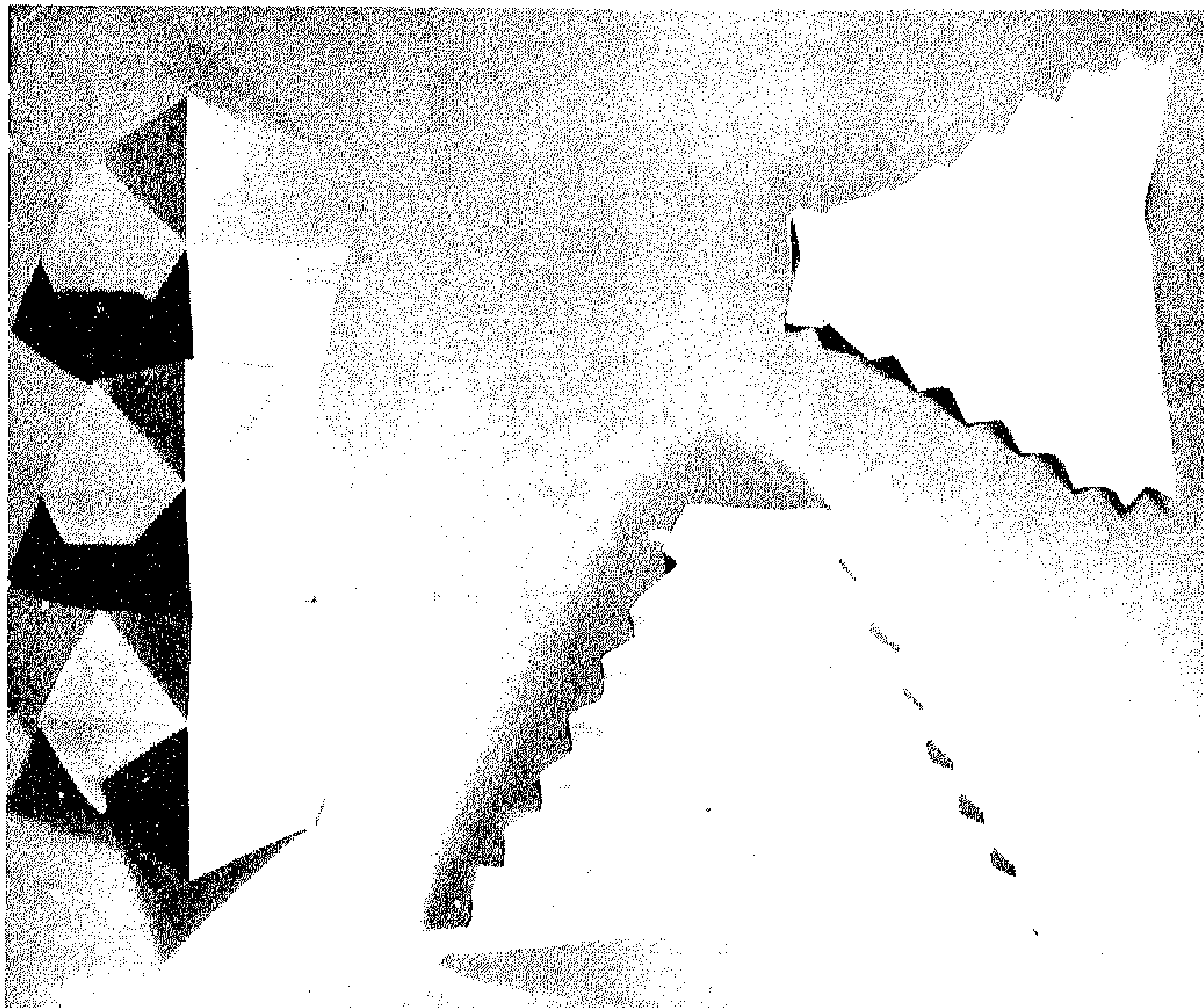
(شكل ٣٢٩) محطة الوصول لنظام العربات المعلقة بأعلى جبل مونت أڤيلا بجوار كراكس بڤنزويلا سنة ١٩٥٥ .

(شكل ٣٣٠) نماذج ورق منطبقة على مساقط مستطيلة ومربعة ودائرية — المهندس رتشارد فلايشمان-جامعة كولومبياسنة ١٩٥٤ .

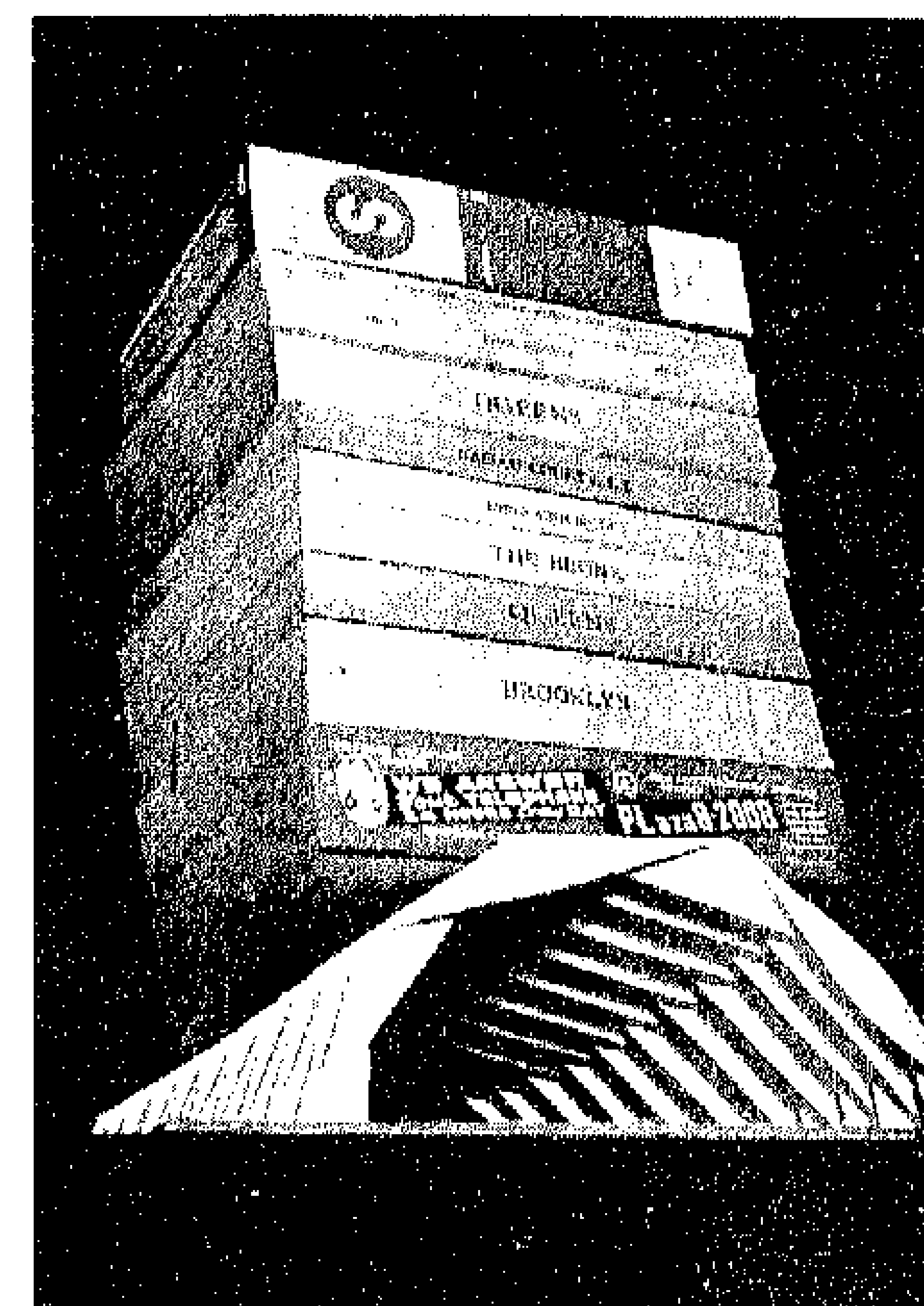
(شكل ٣٣١) قبو من ورق منطبق تحت التحميل .



شكل ٣٢٩

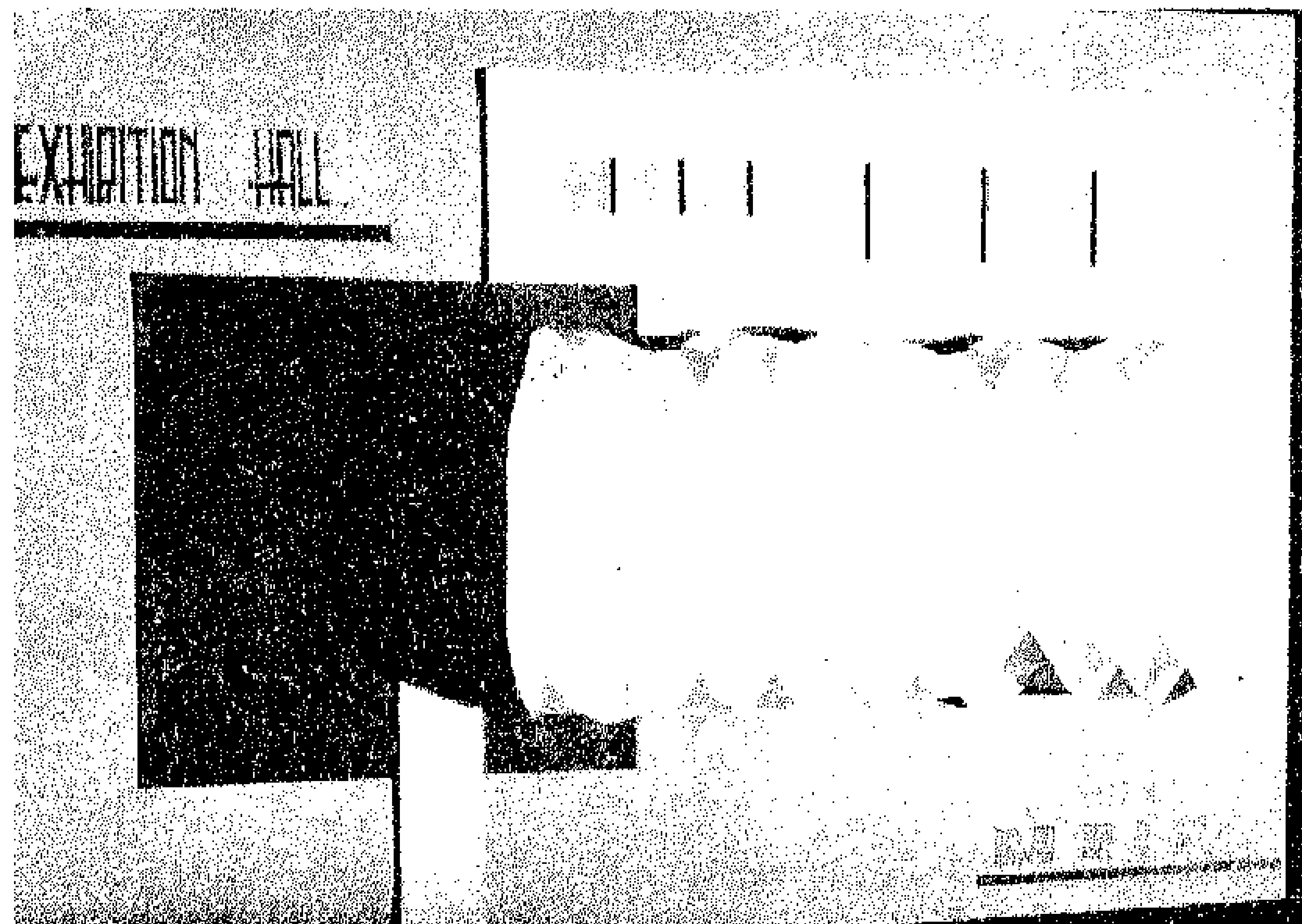


شكل ٣٣٠

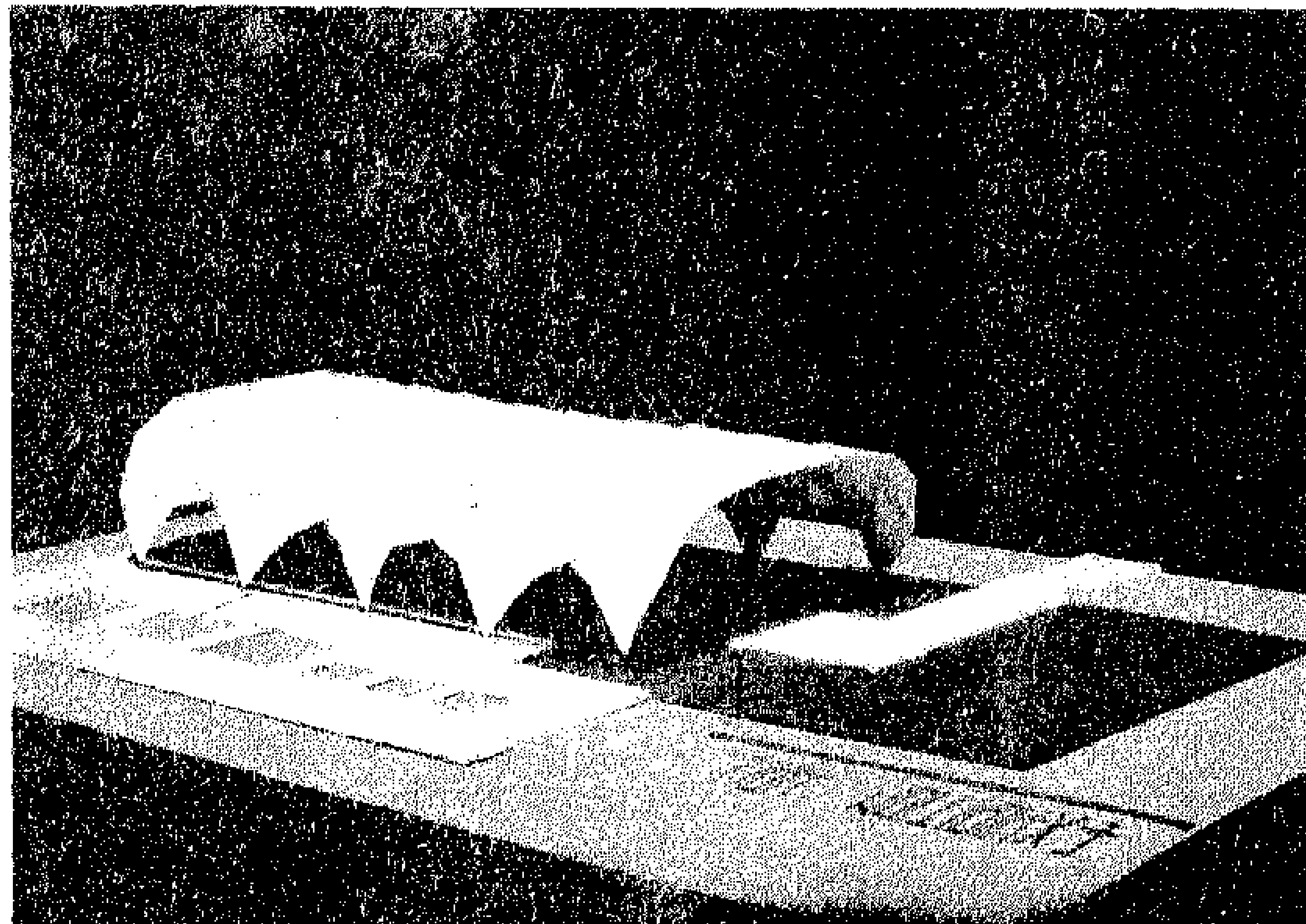


شكل ٣٣١

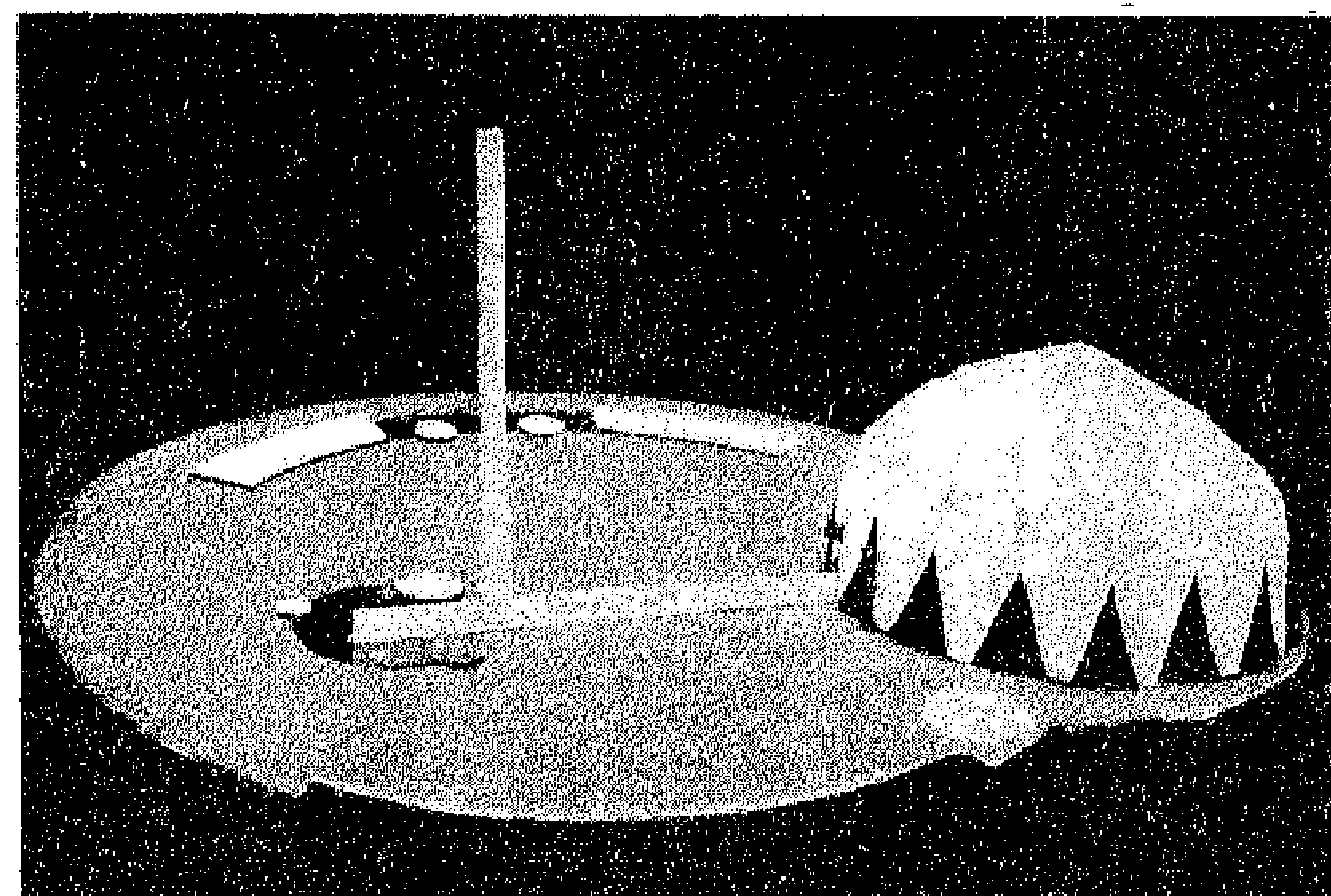
شكل ٣٣٣



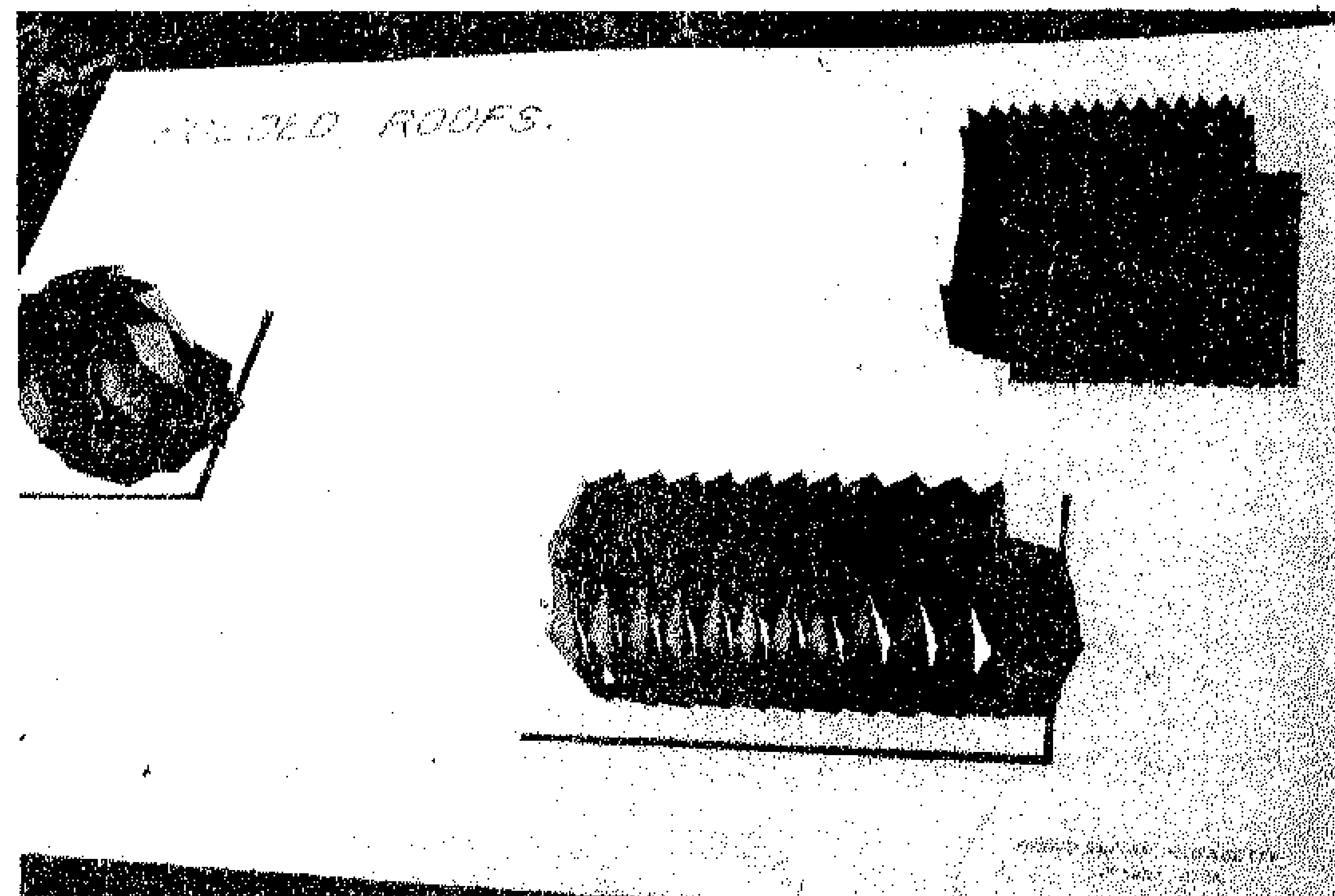
شكل ٣٣٢



شكل ٣٣٥



شكل ٣٣٤



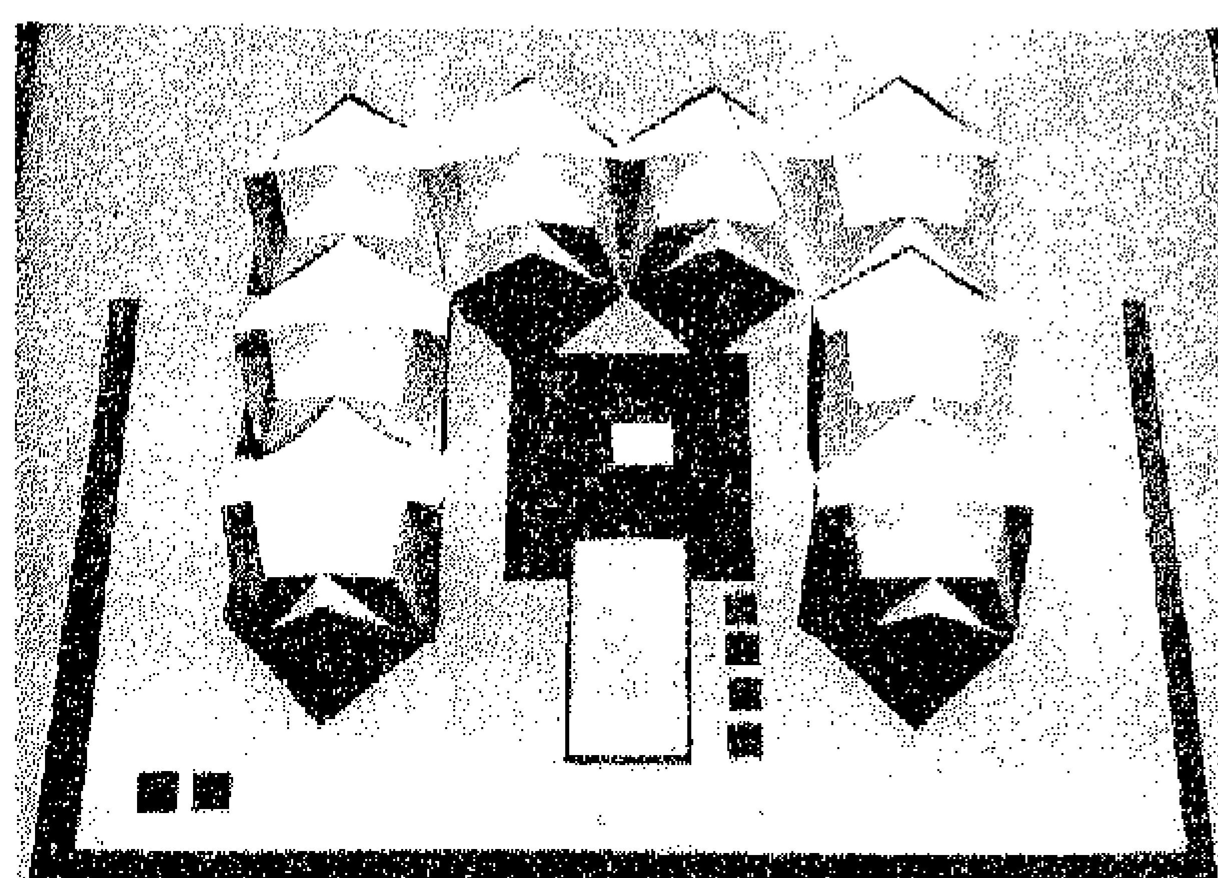
وحدات منطبقة فى الاتجاهين

تطبيقات معمارية لطلبة السنة الثانية عمارة جامعة القاهرة ٦٤ — ٦٥ .

(شكل ٣٣٢ — ٣٣٦) نماذج لأسقف على مساقط مستطيلة ومربعة دائرية ومتعددة الأضلاع

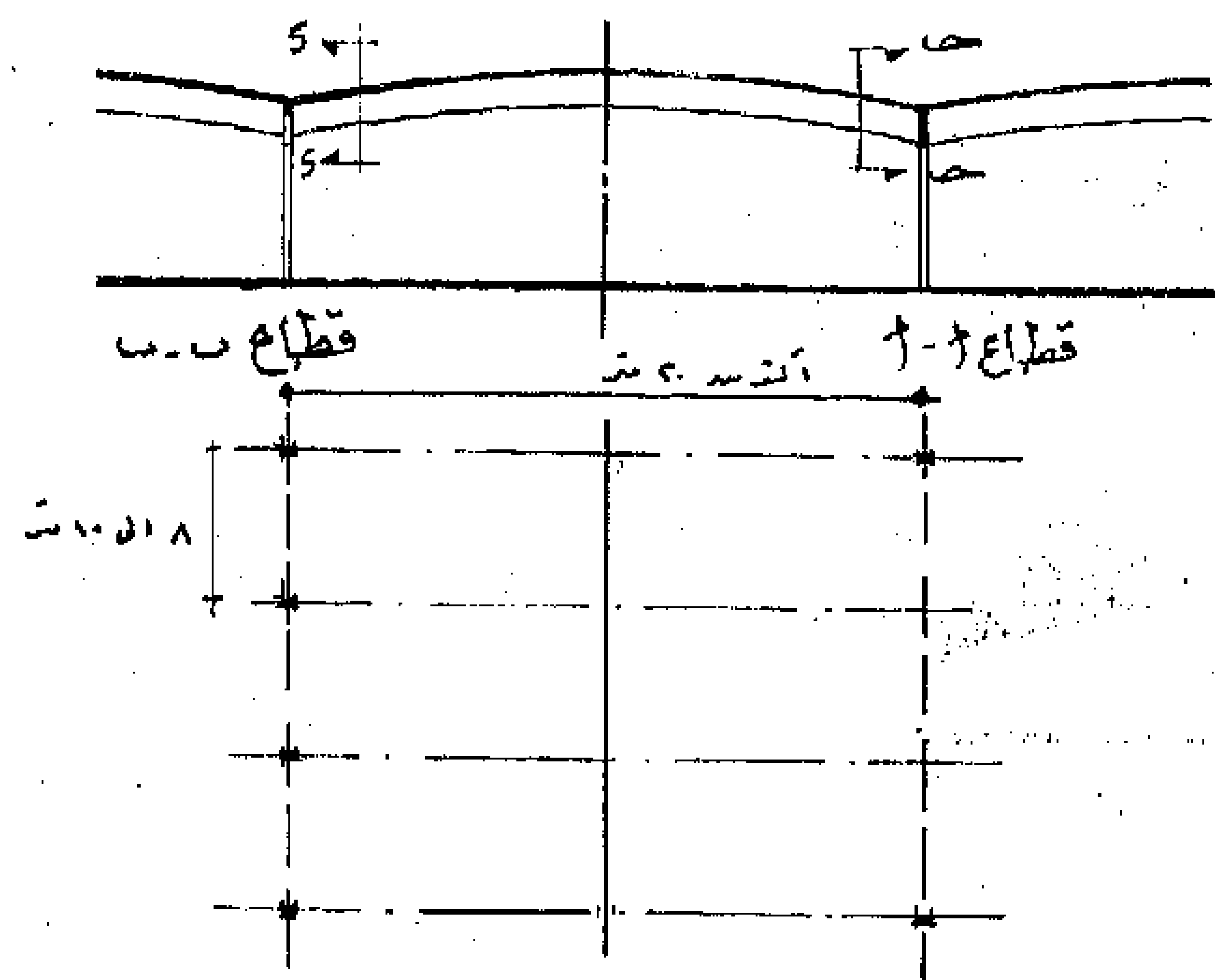
(شكل ٣٣٧) أسقف منطبقة على باكيات مربعة متكررة .

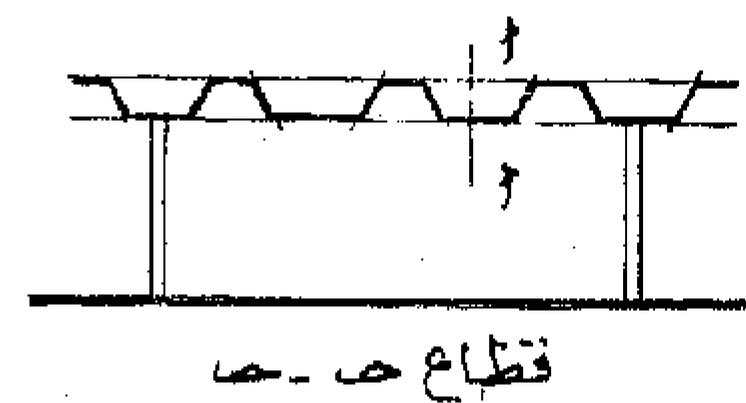
شكل ٣٣٧

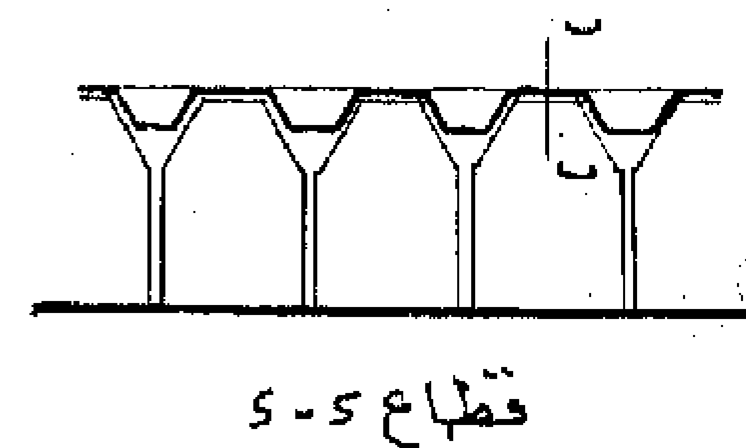


شكل ٣٣٦

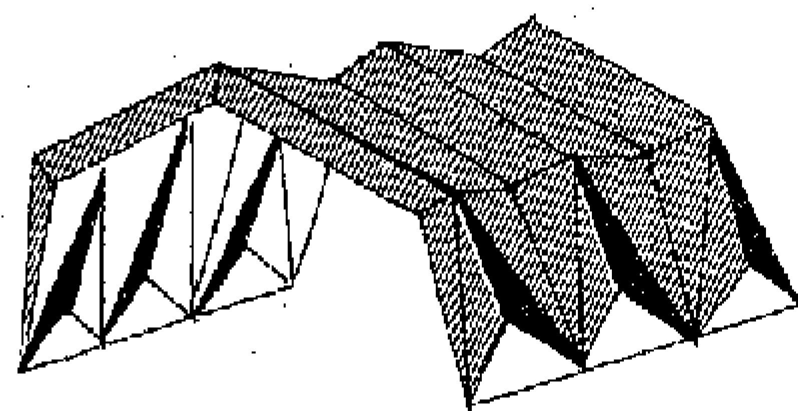


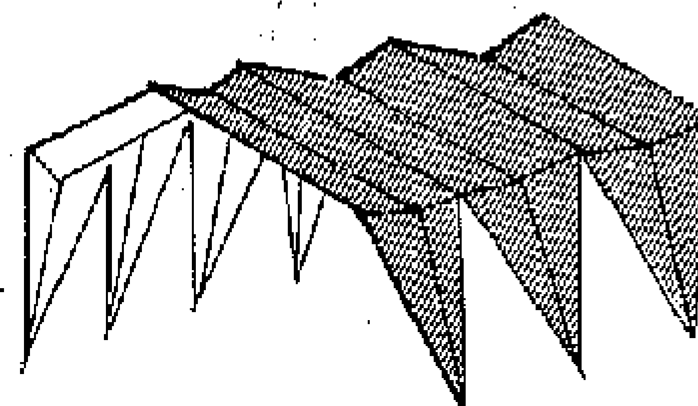


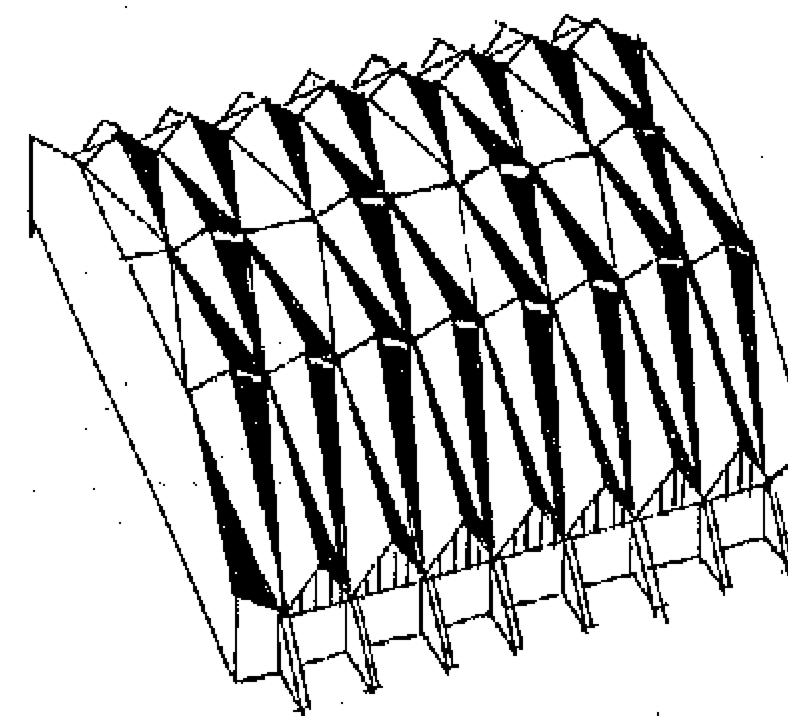




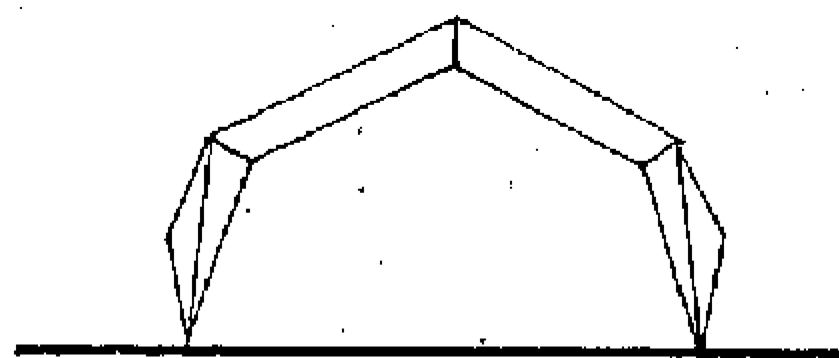
شكل ٣٣٨

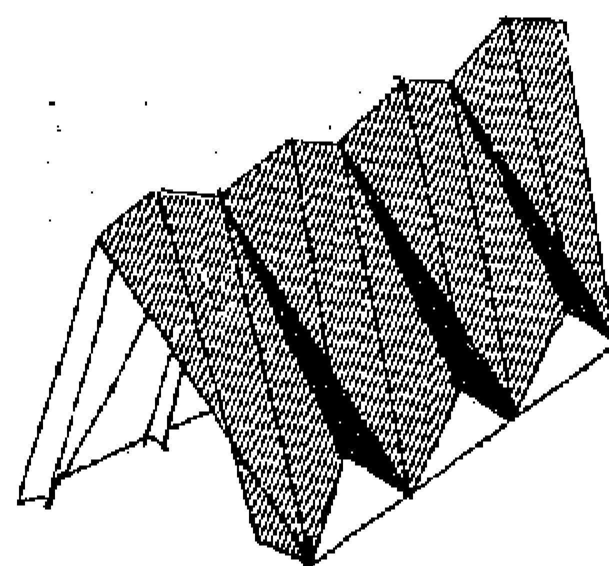


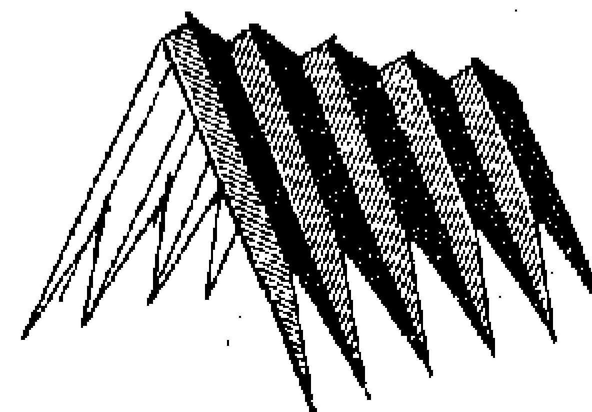


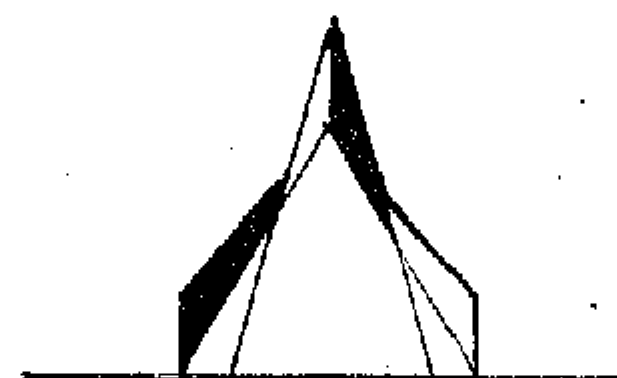


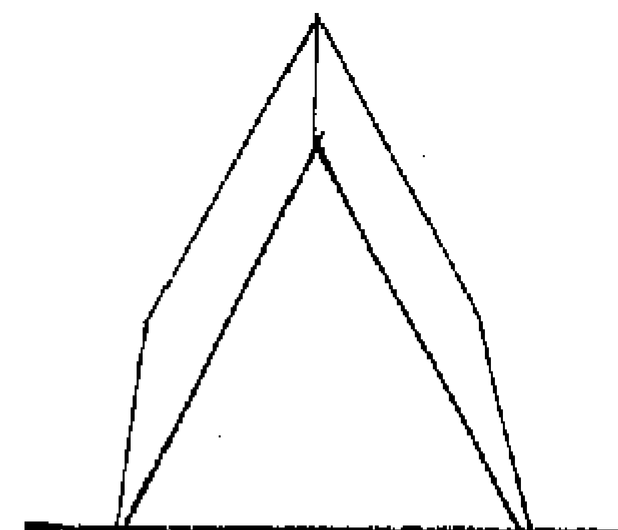
شكل ٣٣٩





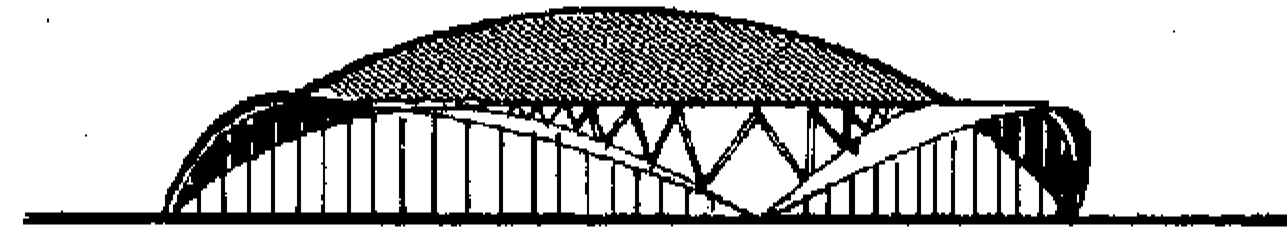


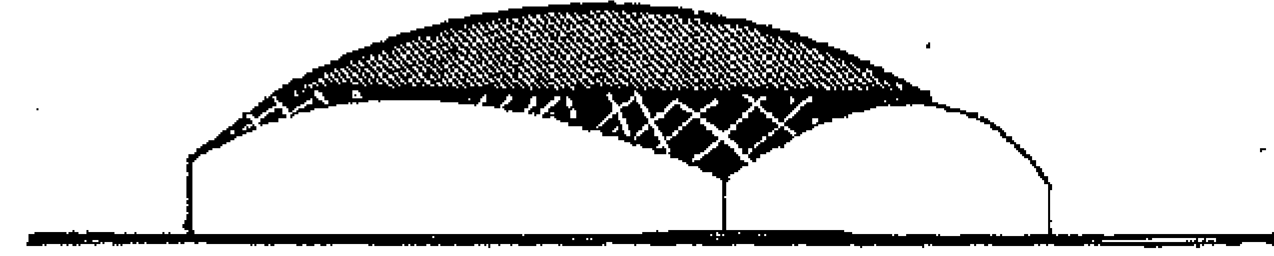




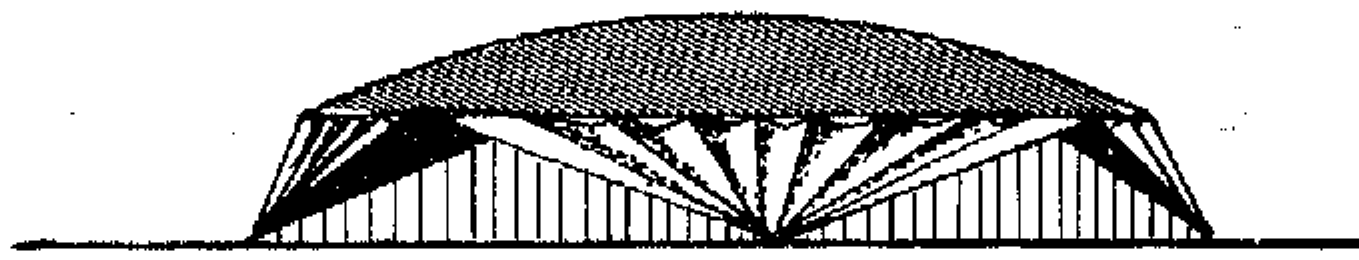
وحدات منطبقة فى الاتجاهين باستعمال القطاعات

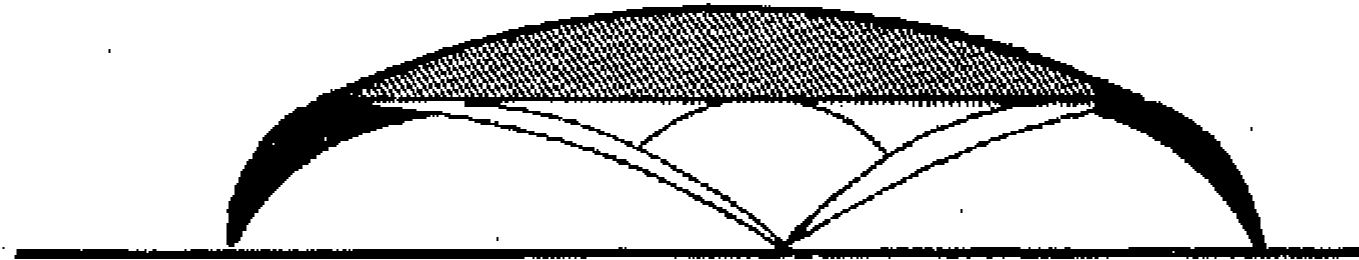
(شكل ٣٣٨) باكيات متكررة مستمرة من قبوات منحنية مسنمة.
(شكل ٣٣٩) تسقيفات منطبقة متعددة الباكيات ذات فتحات جانبية.

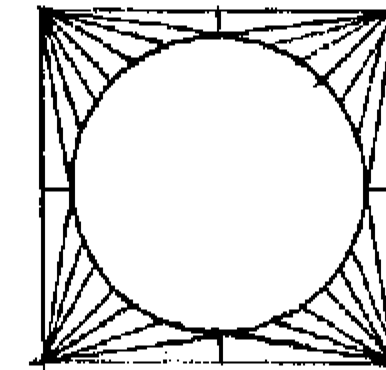


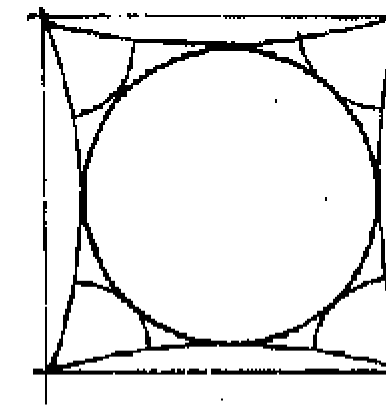


شكل ٣٤٠





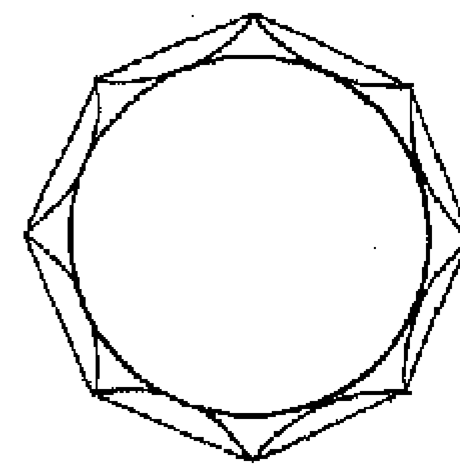




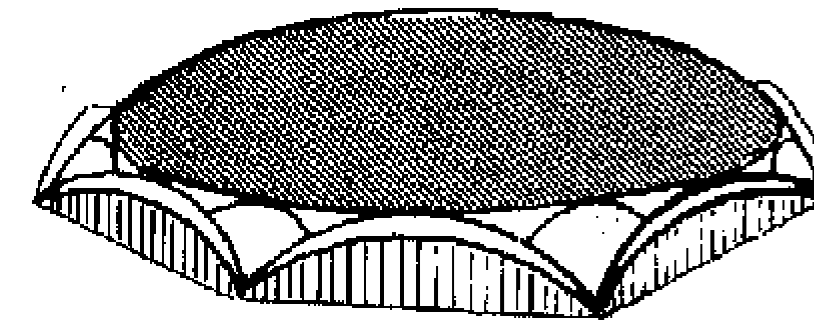
شكل ٣٤١

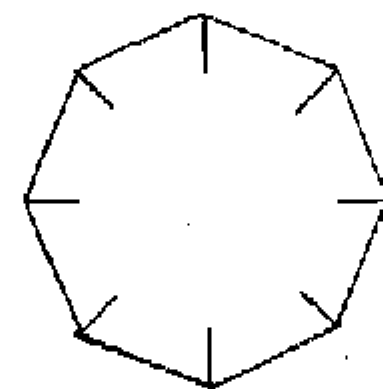
وحدات مزدوجة الانحناء على مساقط مربعة ومتعددة الأضلاع

(شكل ٣٤٠) قبة على مسقط مربع باستعمال المقرنصات .
(شكل ٣٤١) قبة على مسقط مربع باستعمال عقود أو مراوح حاملة
(شكل ٣٤٢) قبة على مسقط مثمن ذو أعمدة باستعمال عقود أو مراوح .
(شكل ٣٤٣) قبة دائرية تتشكل إلى قاعدة مثمنة .

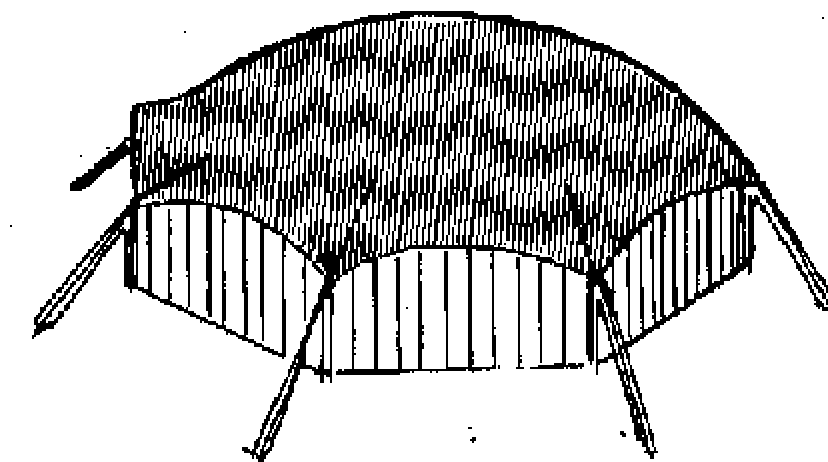


شكل ٣٤٢





شكل ٣٤٣



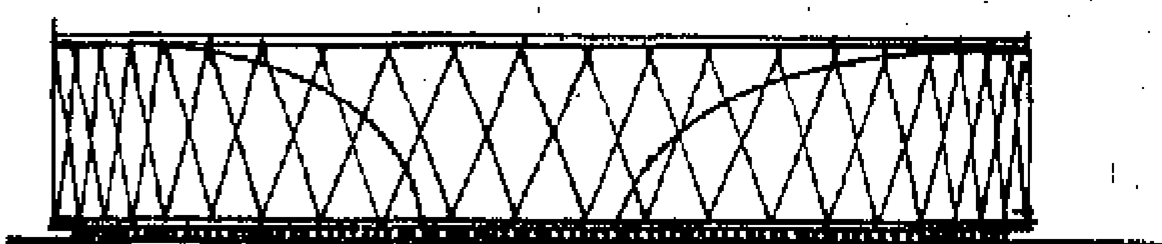
شكل ٣٤٤

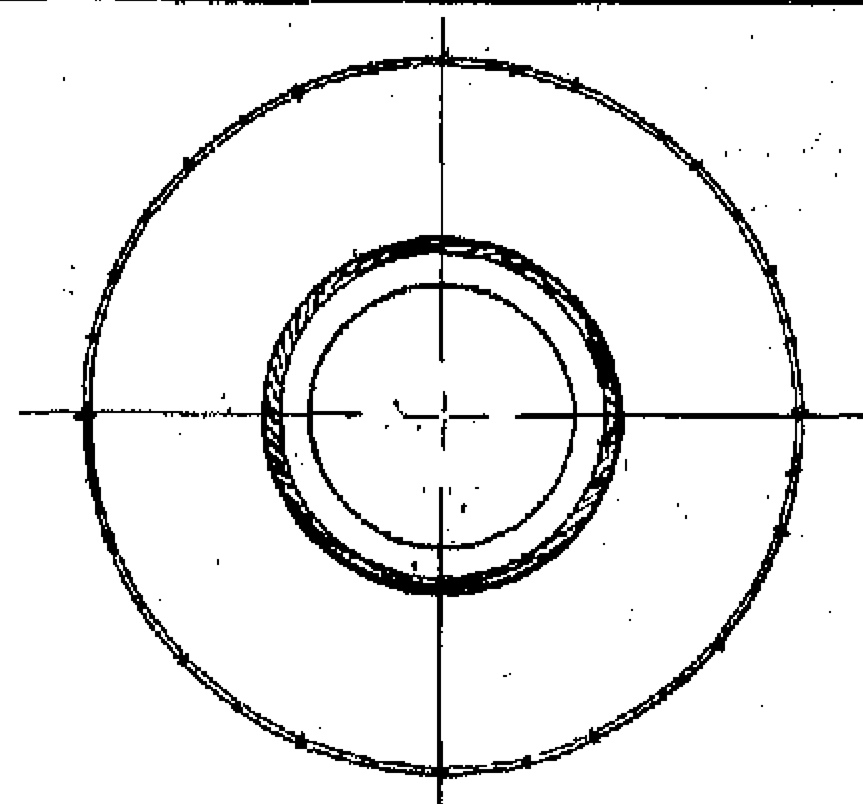


الوحدات المزدوجة الانحناء – مختلفى الإشارة

(شكل ٣٤٤) صالة مدخل مبنى الإدارة فى مركز أبحاث شركة جونسون وأولاده فى راسين بولاية وسكنصن (المهندس المعمارى فرانك لويد رايت)

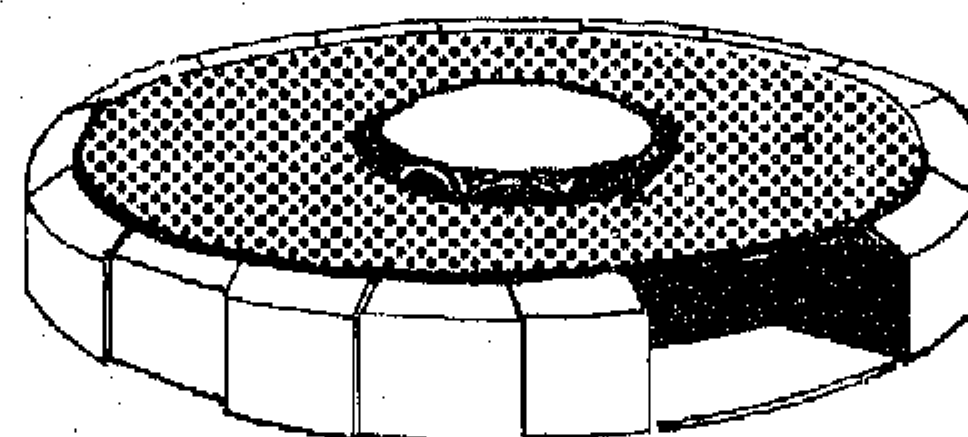
شكل ٣٤٧





شكل ٣٤٦





شكل ٣٤٥

(شكل ٣٤٥) فراغات واسعة تحت سقف مشروعى لحظائر الطائرات. الفراغ الأوسط يمكن استغلاله لوحدات الخدمة أو التخزين .

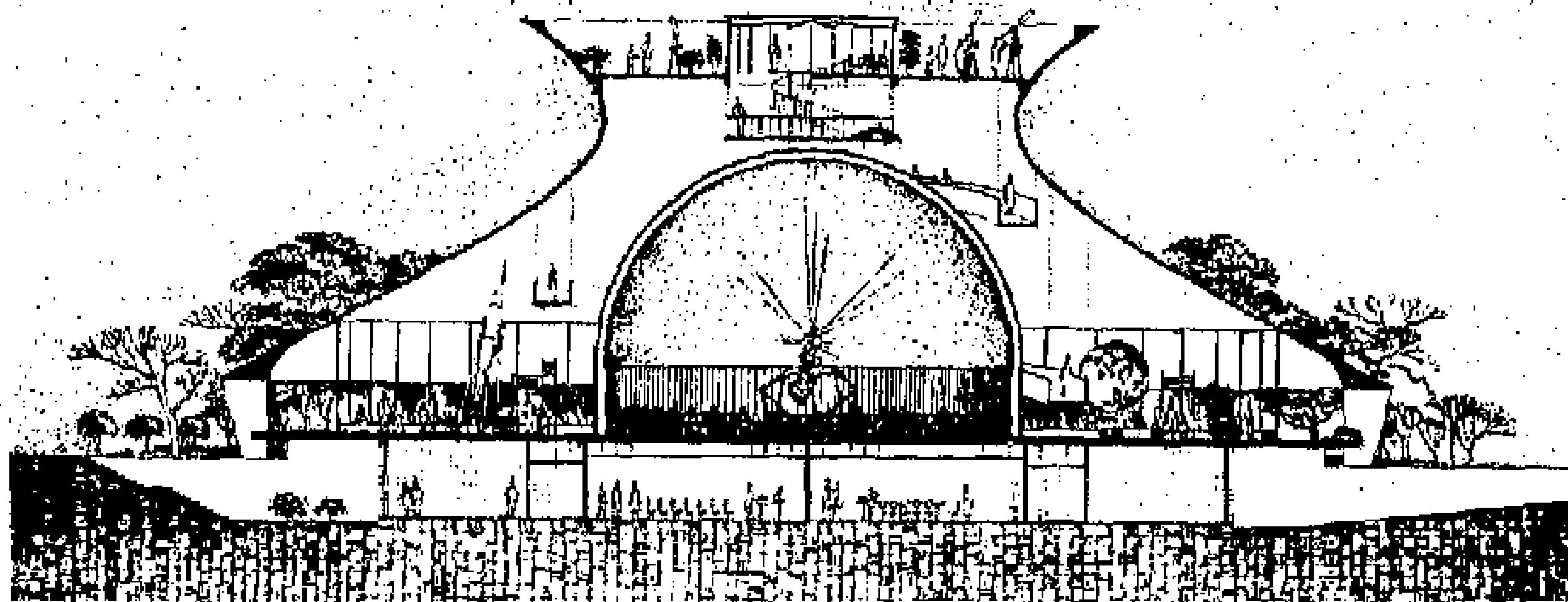
(شكل ٣٤٦) فراغات عامة خالية من الأعمدة الخارجية للمعارض وصالات الطعام وغيرها.

(شكل ٣٤٧) مطعم الكورسال فى الليدو بروما سنة ١٩٥٠ (المعمارى اتيليو لا بادولا والإنشائى بيير لويجى نيرفى)

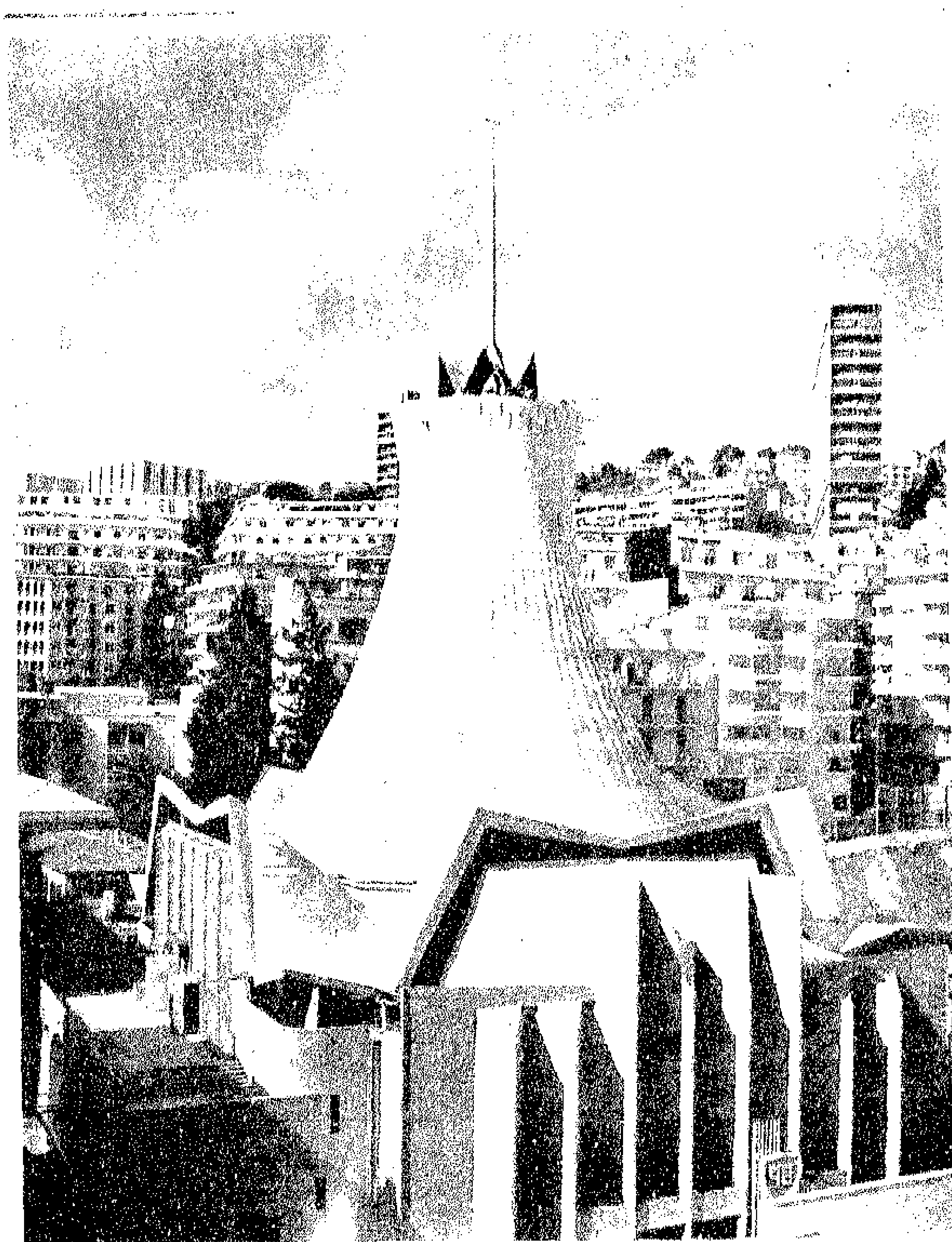
شكل ٣٤٨

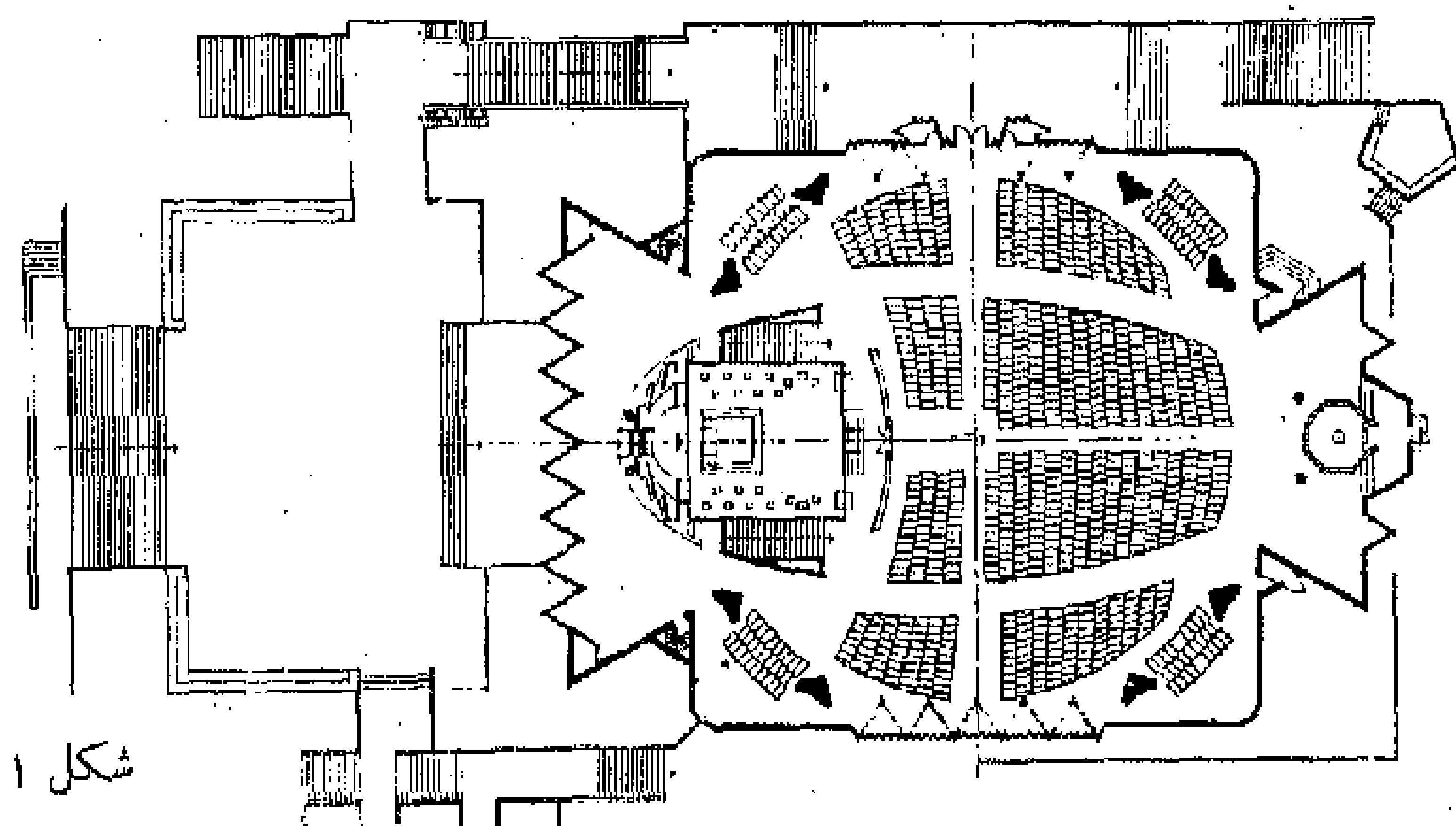


شكل ٣٤٩



شكل ٣٥٠



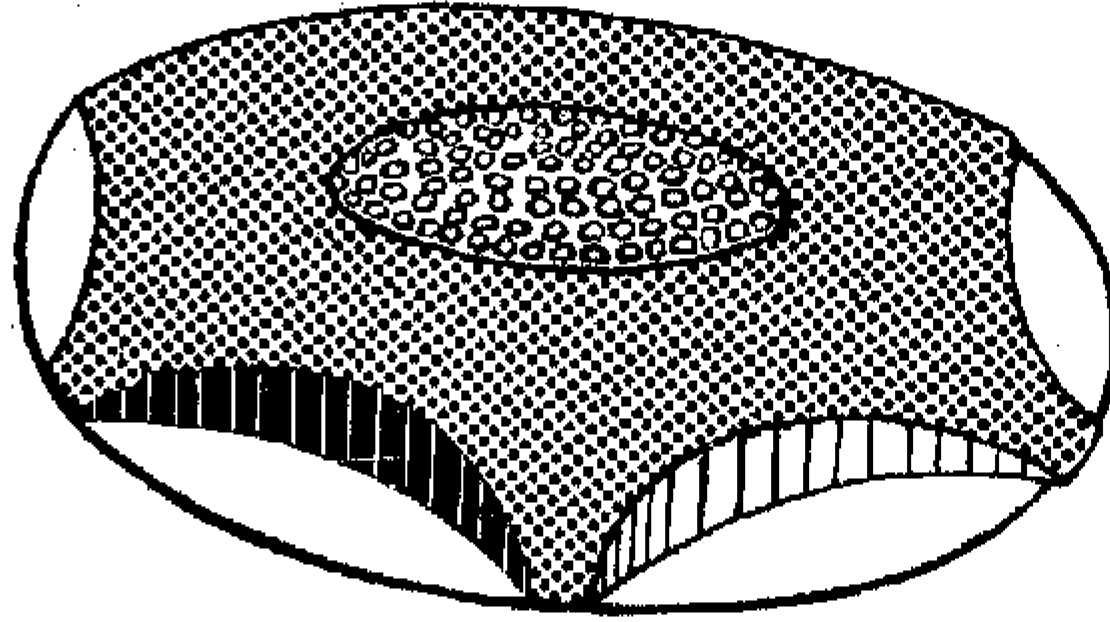


شكل ٣٥١

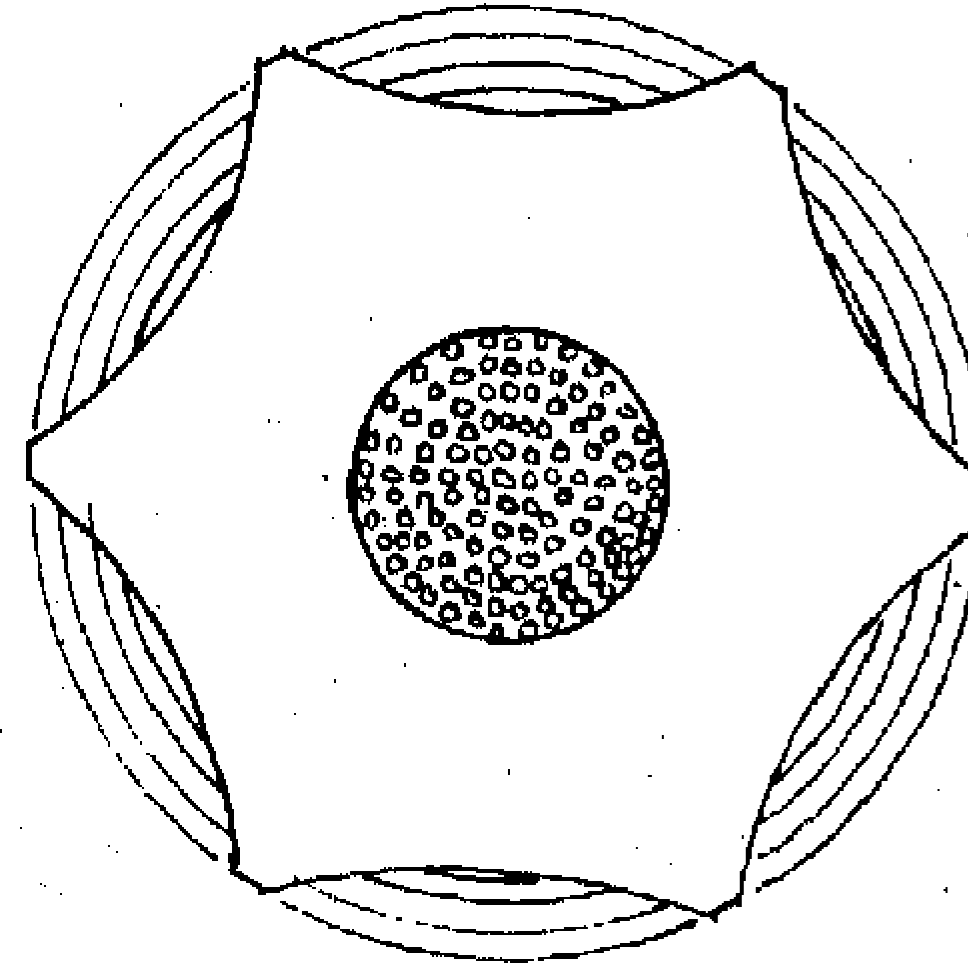
الوحدات المزدوجة الانحناء (مختلفي الإشارة)

(شكل ٣٤٨) مرصد فلكي بسانت لويس (المعماريون هيلموث و واوباتا وكاساپاوم) .
(شكل ٣٤٩) قطاع بالغلاف الخارجي والقبة الداخلية .
(شكل ٣٥٠) كتدرائية الجزائر – منظر عام .
(شكل ٣٥١) مسقط أفقي للكتدرائية .



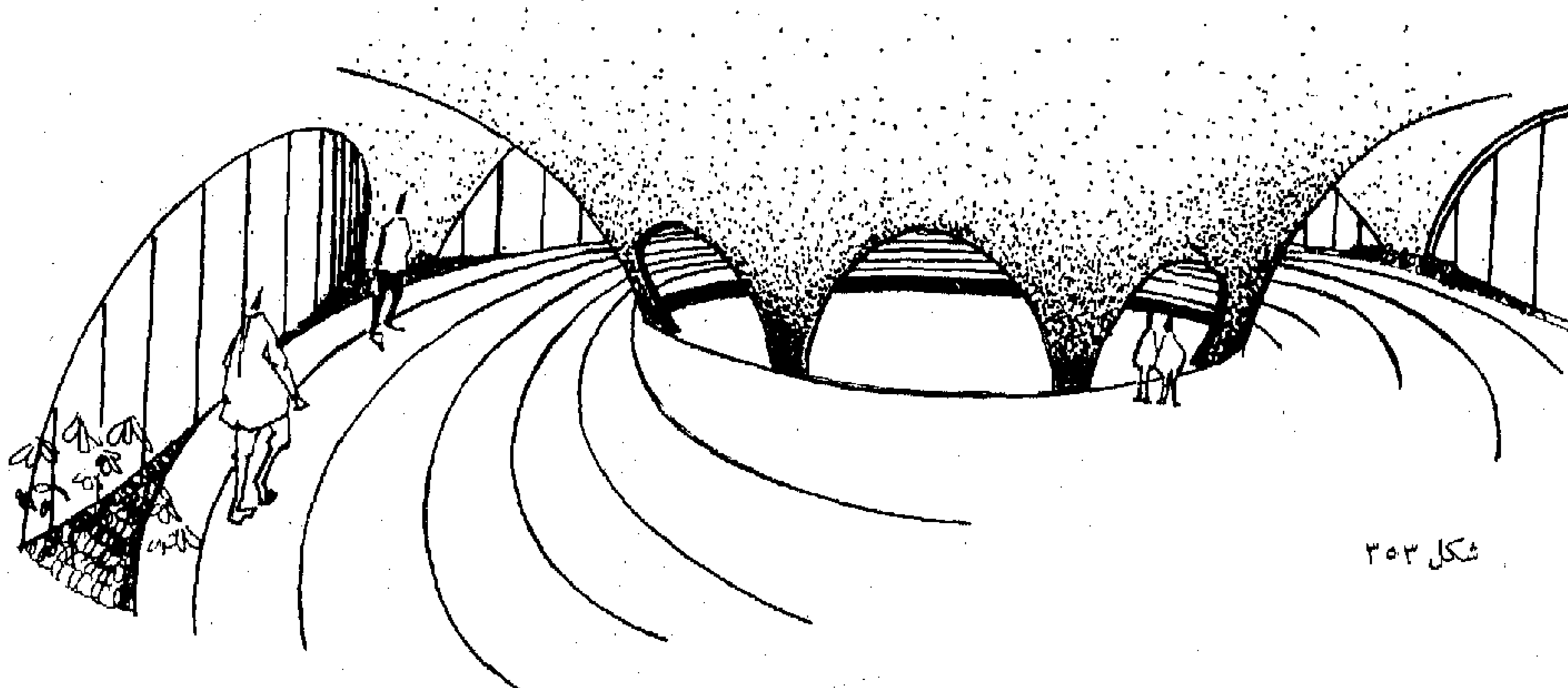


شكل ٣٥٢



الوحدات مزدوجة الانحناء — القبو الحلقى

(شكل ٣٥٢) قبو حلقى حول فناء مغطى بقبة زجاجية .
(شكل ٣٥٣) منظور داخلى للقبو الحلقى بالفتحات على الفناء الداخلى .



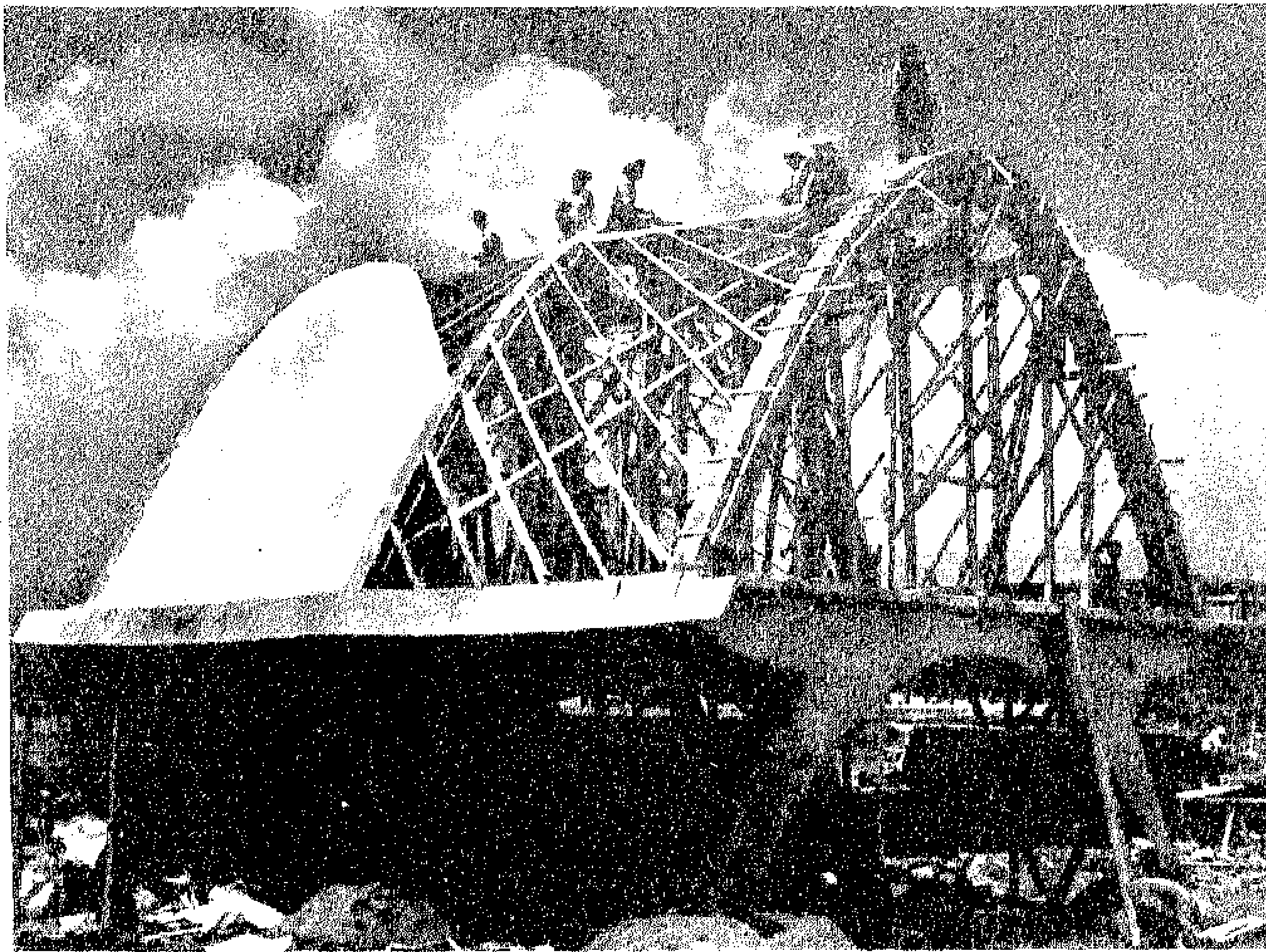
شكل ٣٥٣

وحدات القطع الزائدى المكافئ

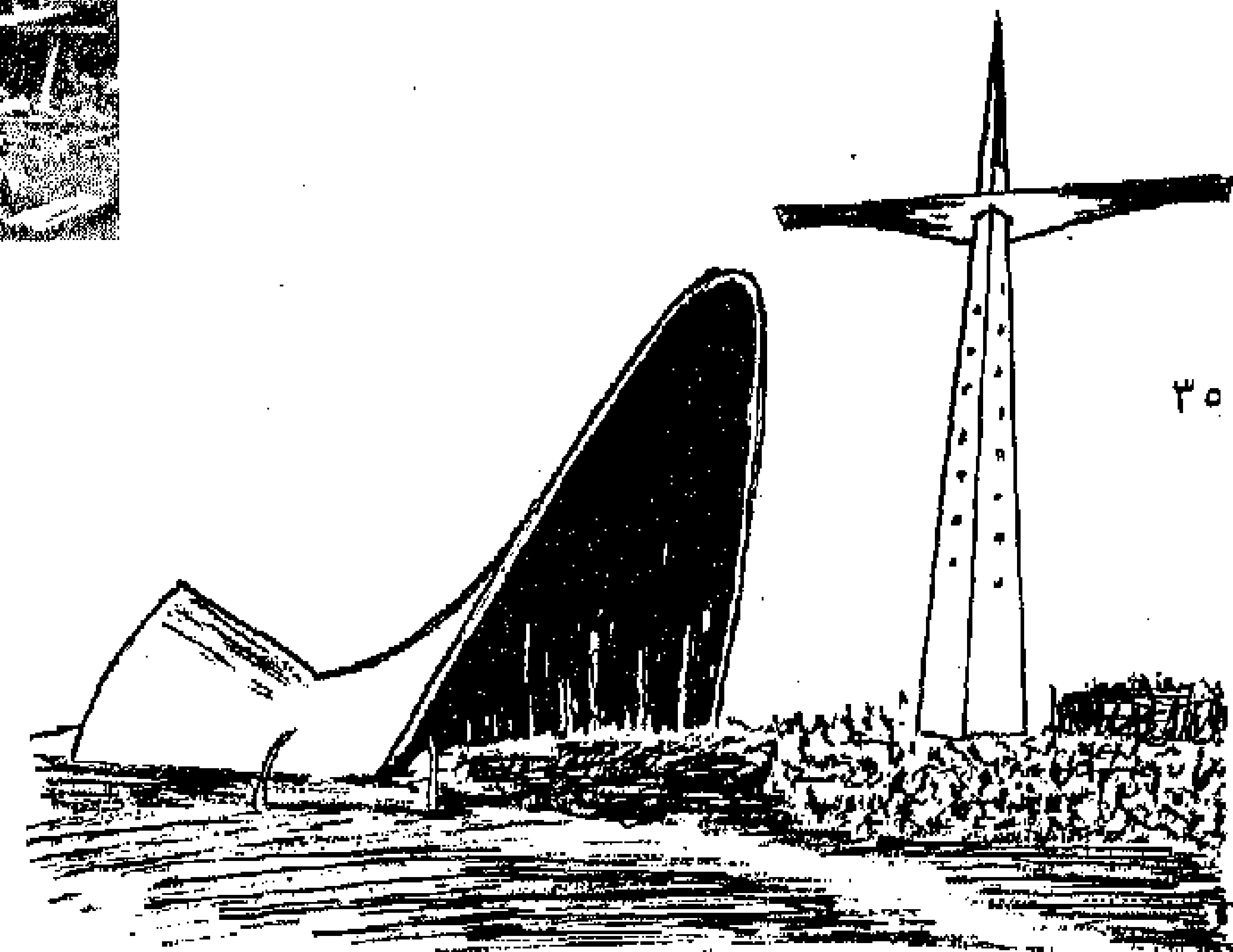
(شكل ٣٥٤) معمل الأشعة الكونية بالجامعة المكسيكية بمدينة مكسيكو– المهندس فيلكس كاندلا .

(شكل ٣٥٥) كنيسة لاس لوماس فى كويرنفاكا بمكسيكو (المعماريين جويلاروسل ومانويل لاروزا والإنشائى كاندلا) .

(شكل ٣٥٦) مخزن منتجات صناعية ومصبغة فى تشيكوسلوفاكيا ذات أسقف من وحدات قطاع زائدى مكافئ . (المهندس الإنشائى كونارد هروبان) .

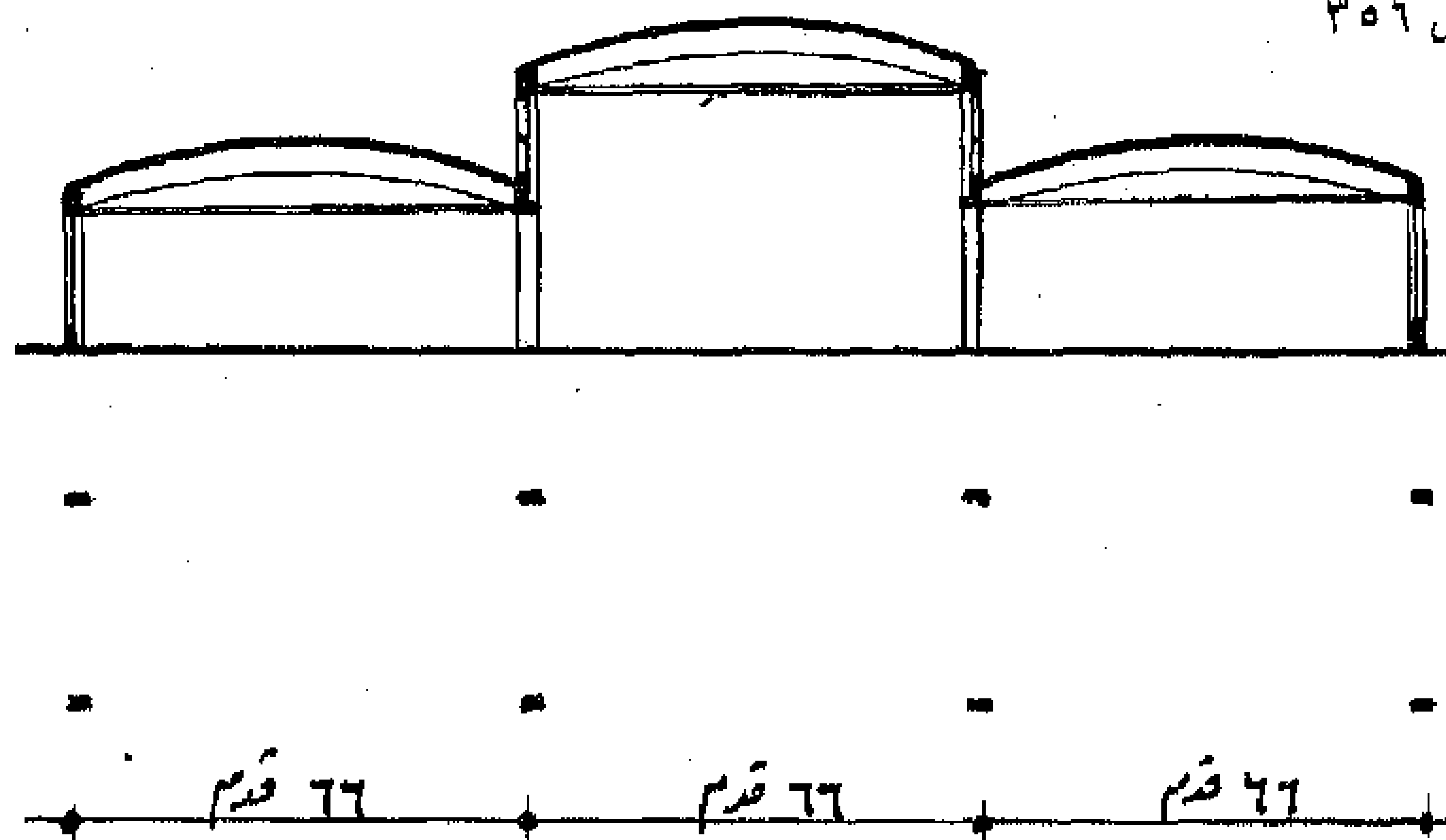


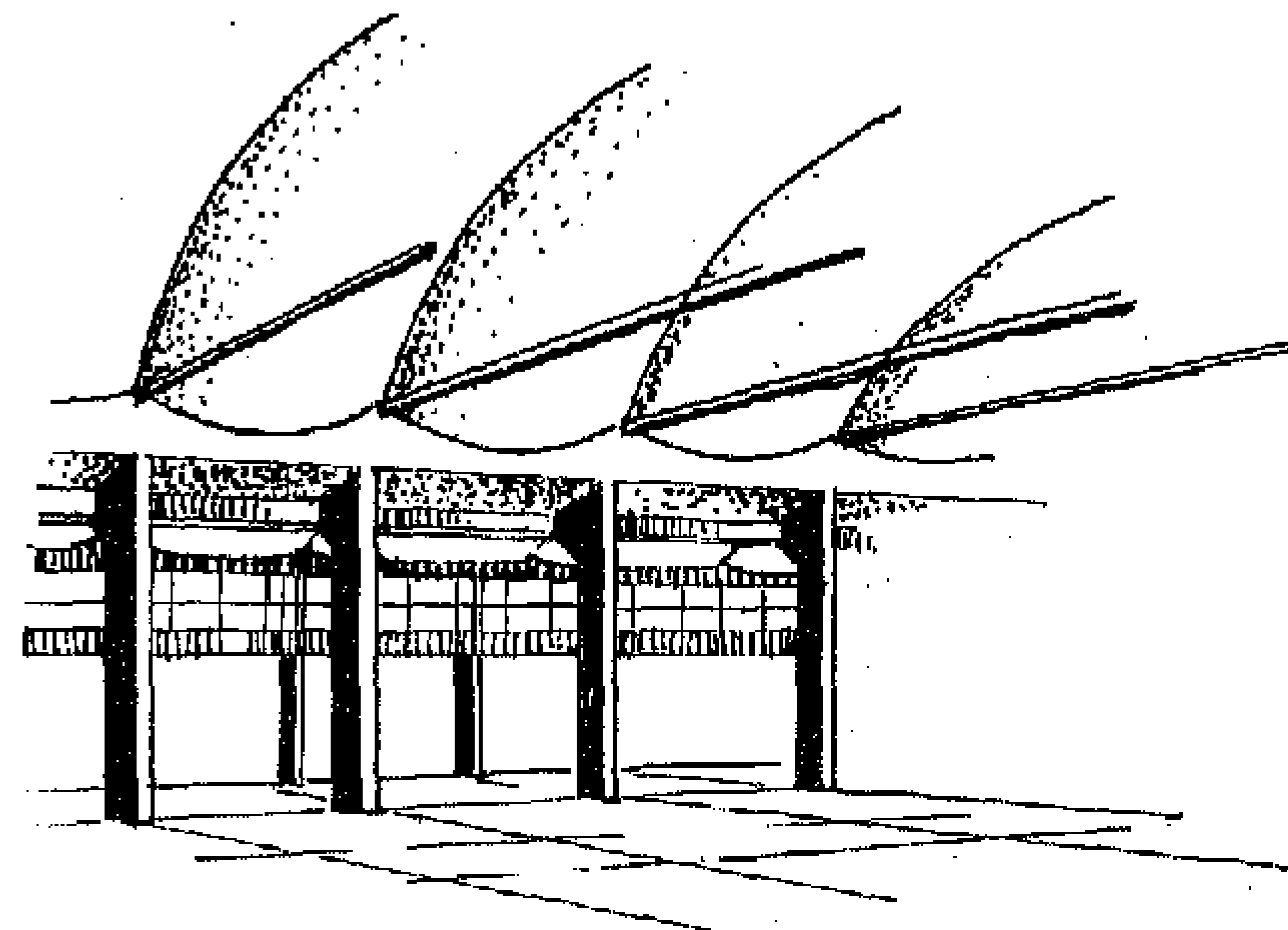
شكل ٣٥٤



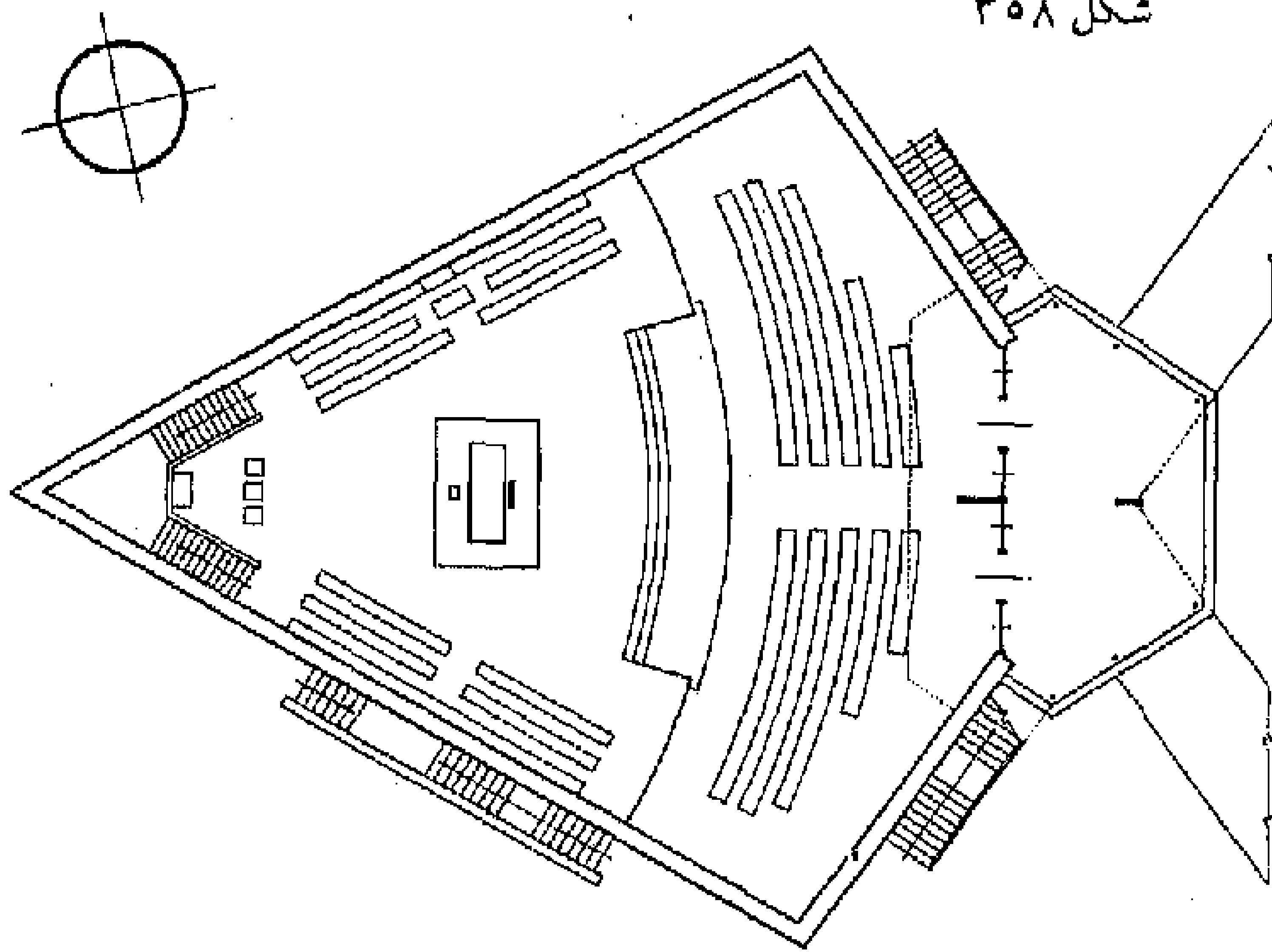
شكل ٣٥٥

شكل ٣٥٦

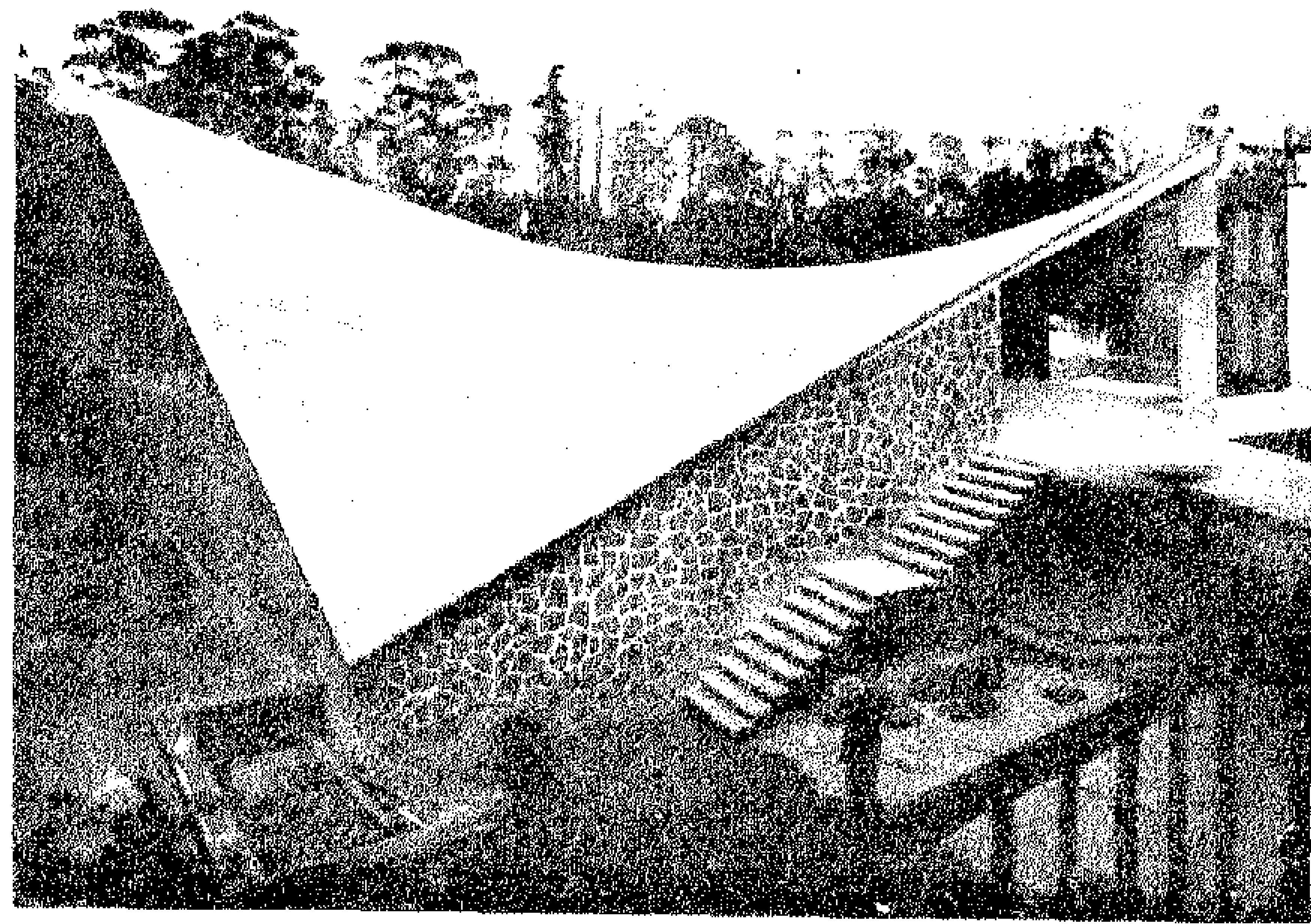


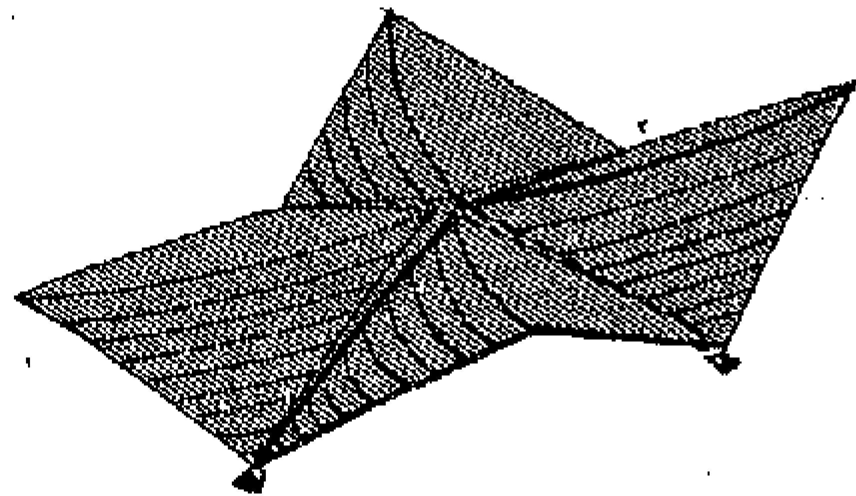


شكل ٣٥٨

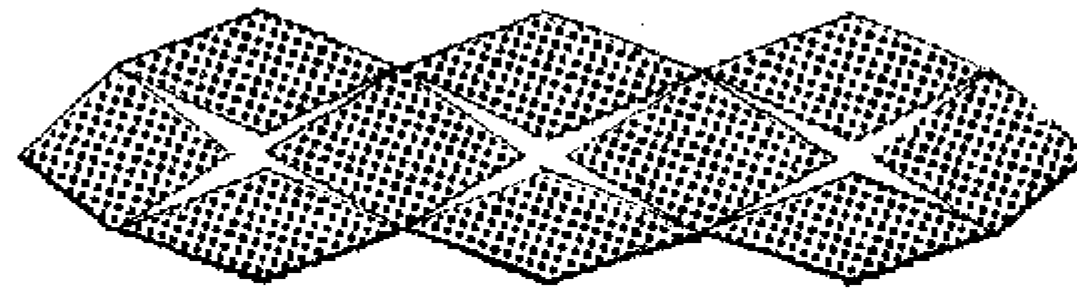


شكل ٣٥٧

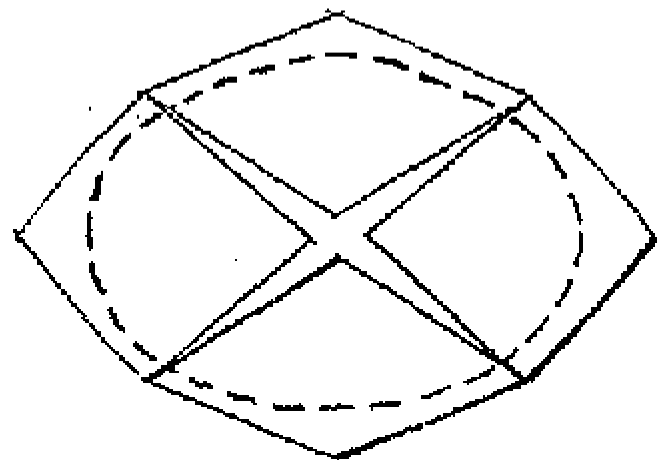


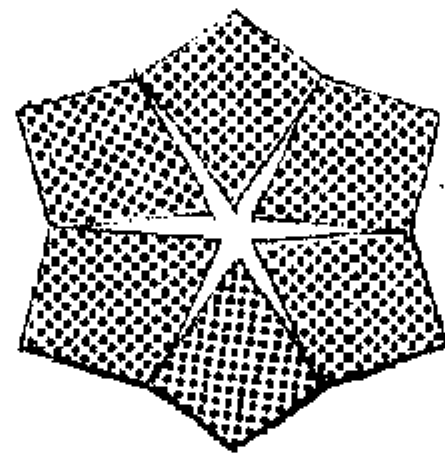


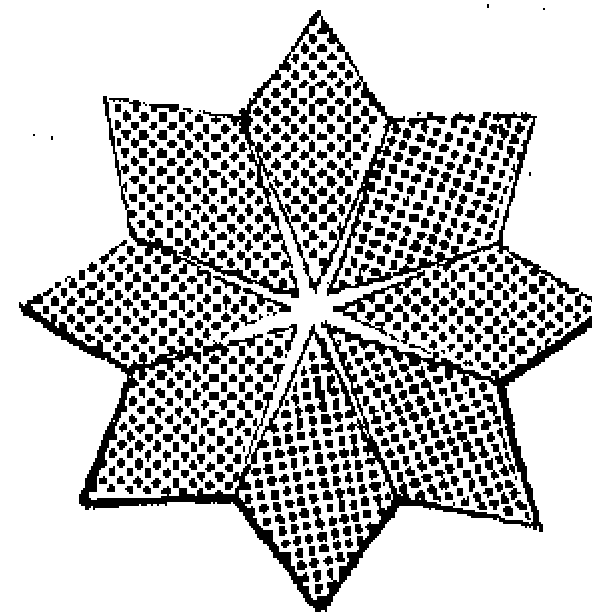




شكل ٣٥٩





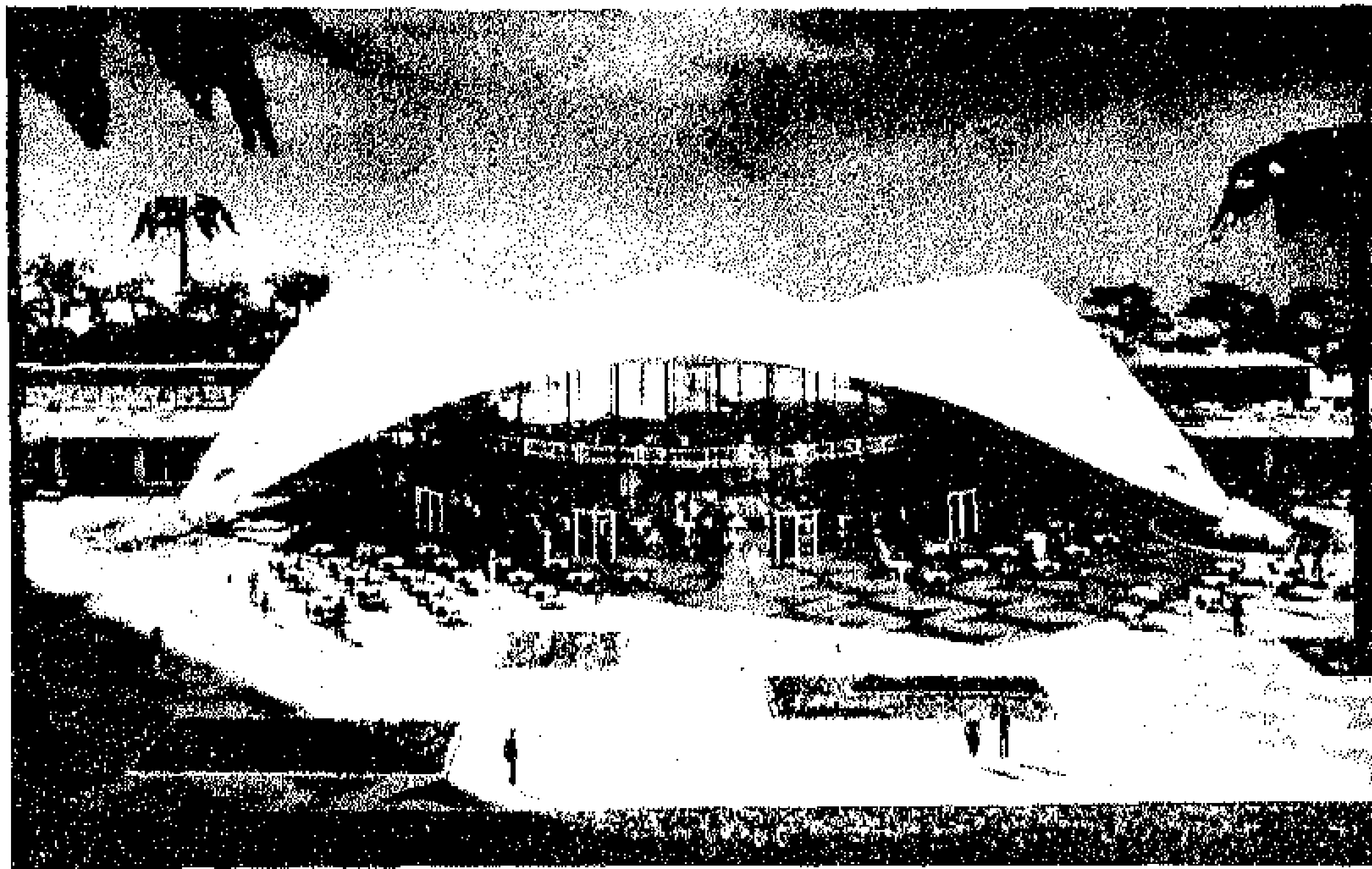




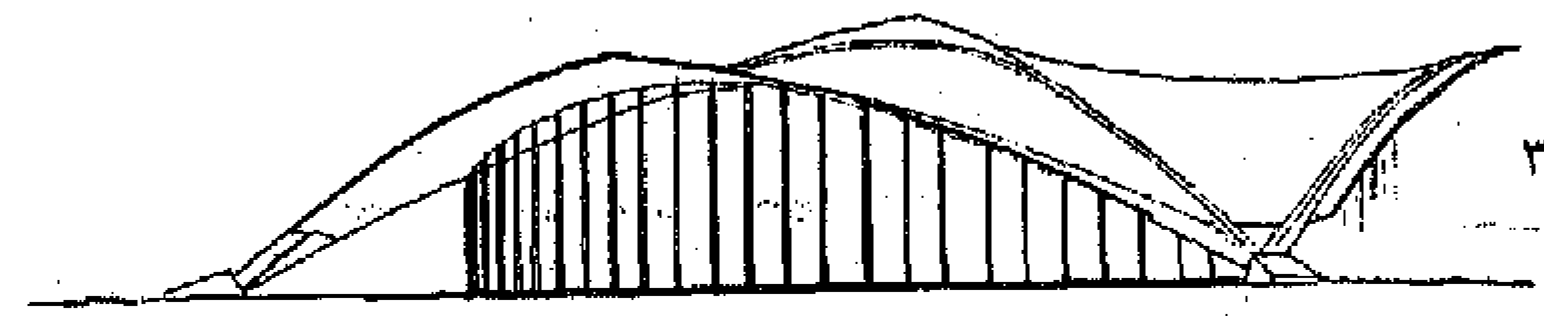
وحدات قطاع زائدى مكافئ مفردة أو مجمعة

(شكل ٣٥٧) كنيسة نيوسترا سنورا دى لا سوليداد) فى مكسيكو (المعمارى لامورا وشركاه والإنشائى كانلا) .
(شكل ٣٥٨) مسقط أفقى للكنيسة .
(شكل ٣٥٩) استعمالات الوحدات على مساقط مستطيلة ومربعة ومتعددة الأضلاع .

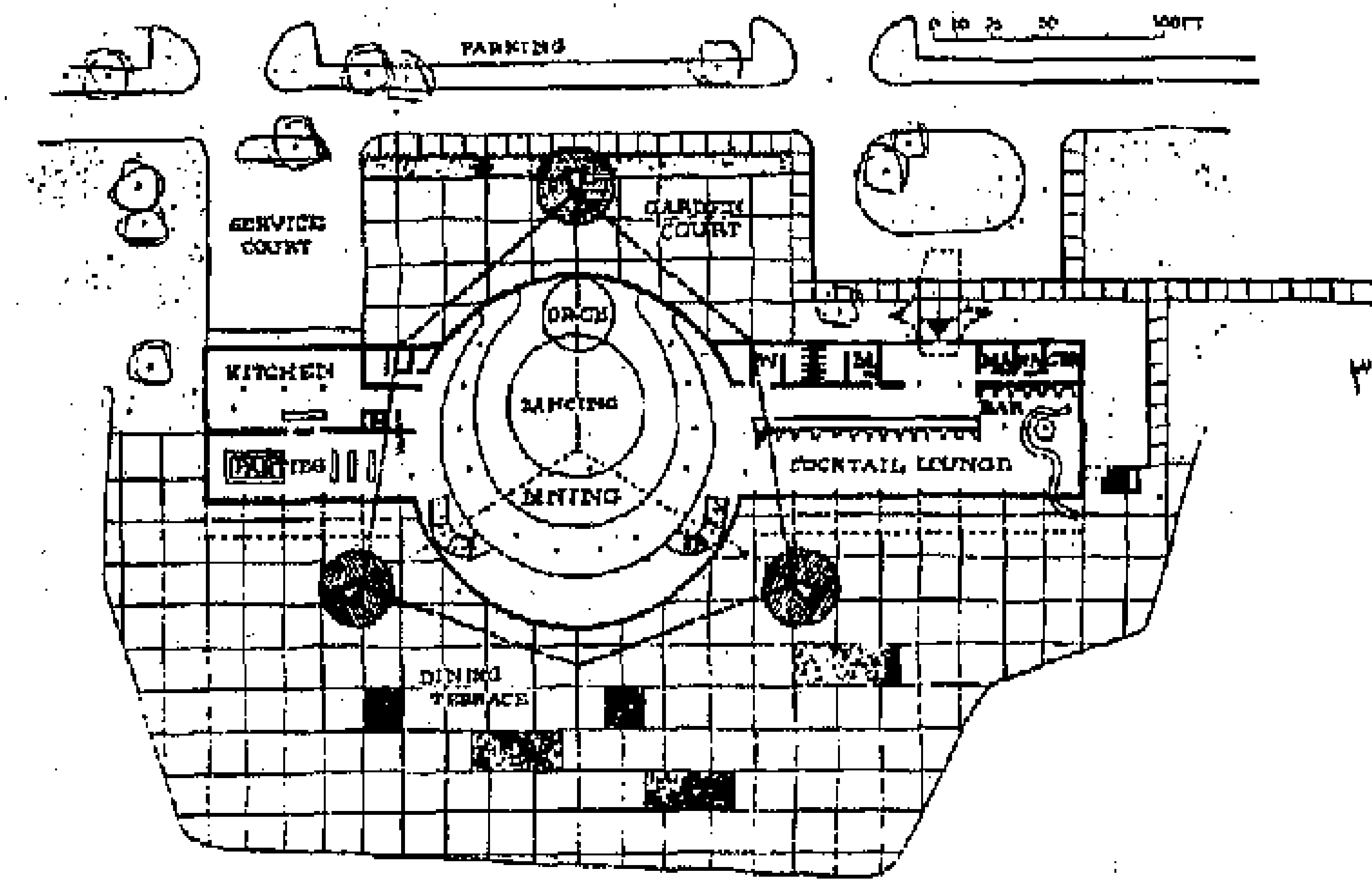
شكل ٣٦٠

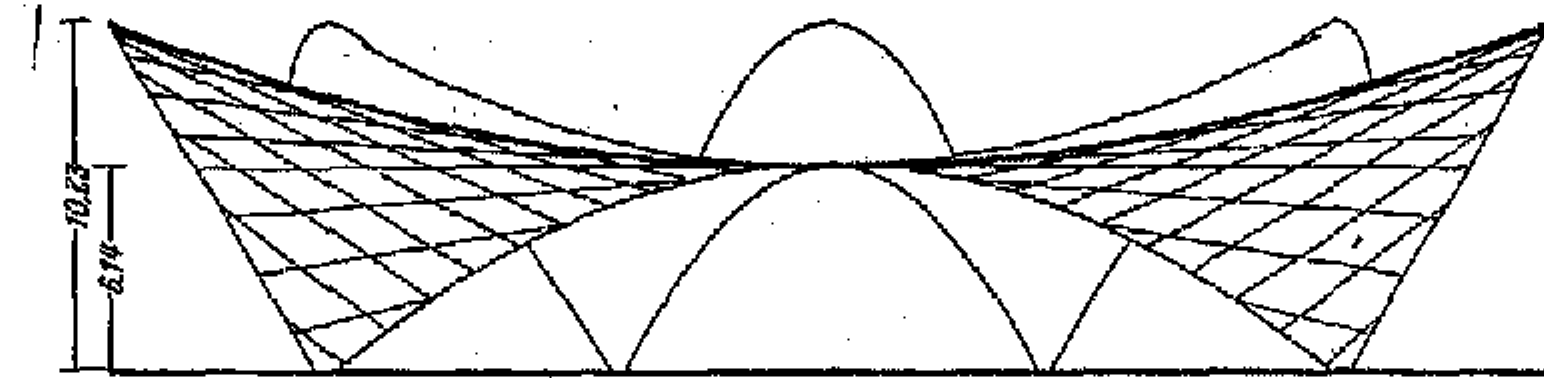


شكل ٣٦١

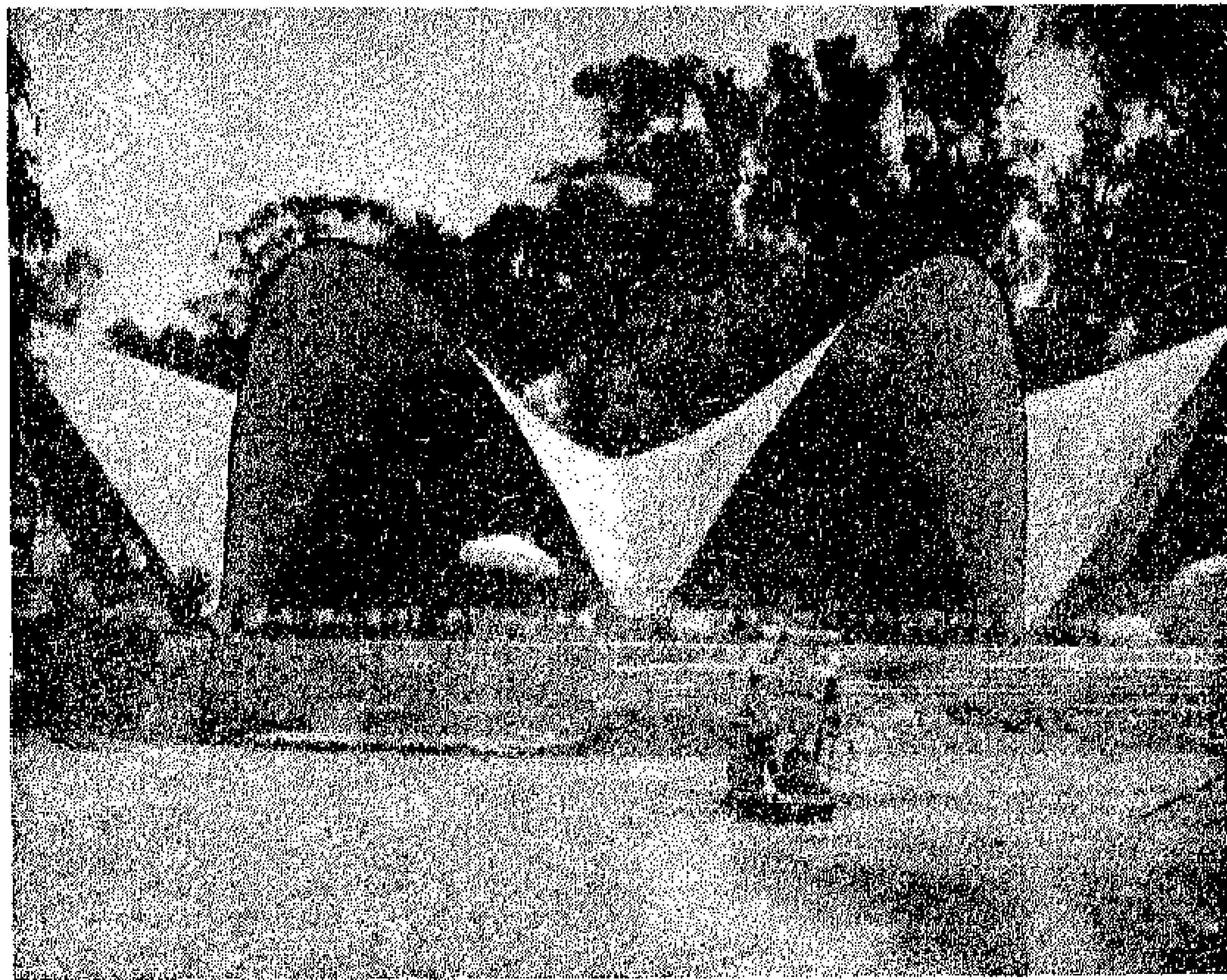


شكل ٣٦٢

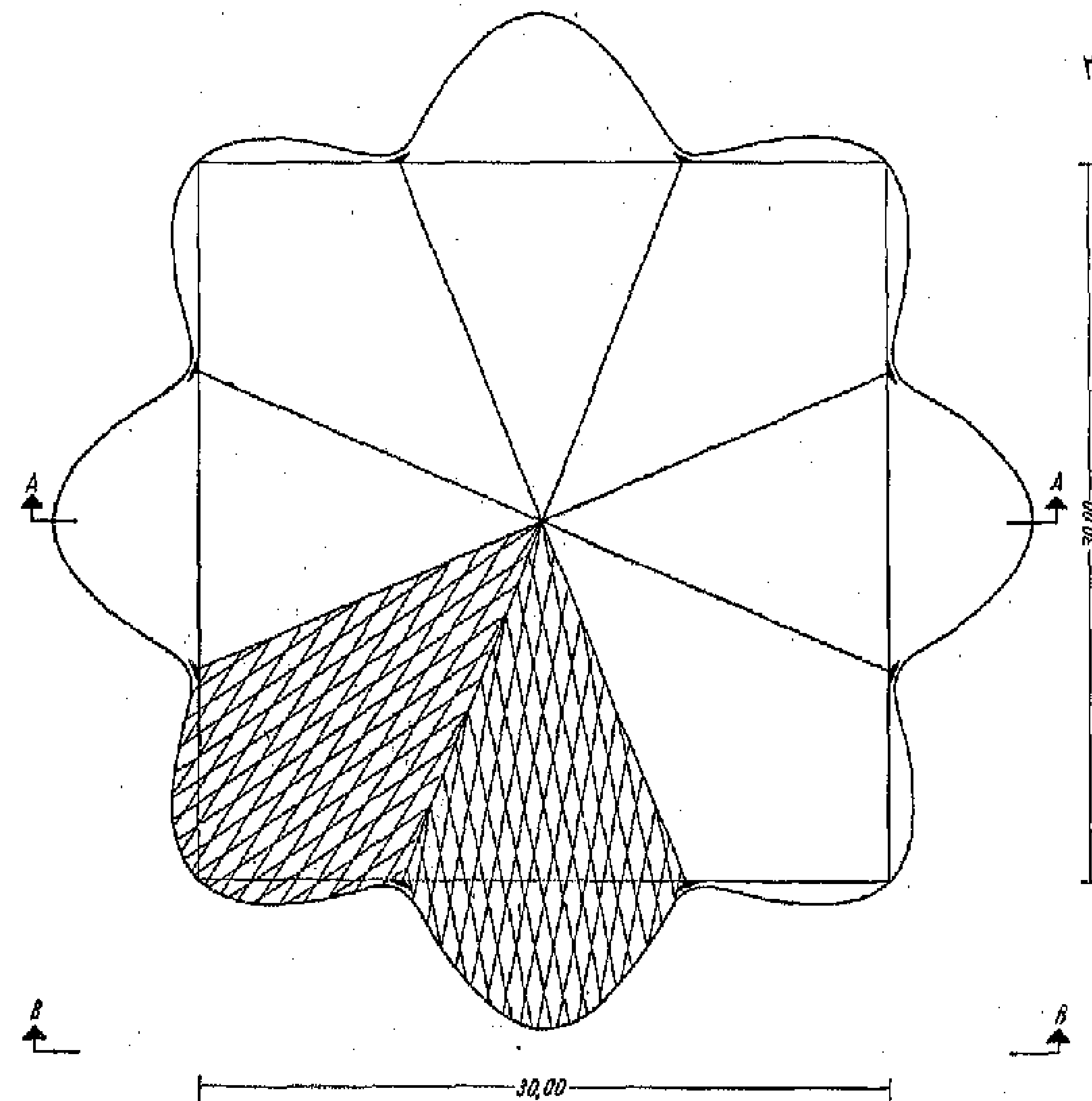




شكل ٣٦٣



شكل ٣٦٤



تجميعات وحدات قطاع زائدى مكافئ

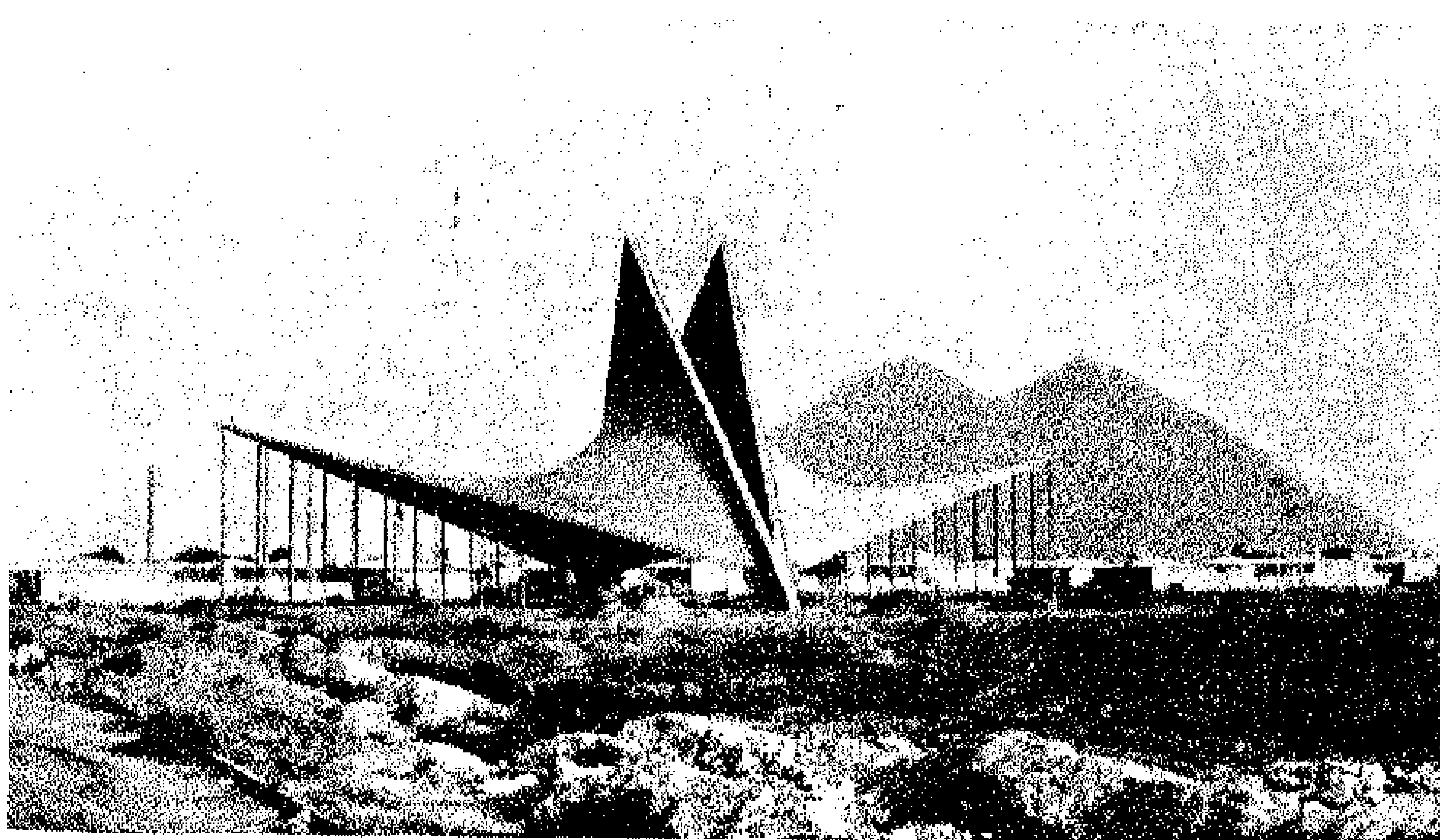
(شكل ٣٦٠) مشروع مطعم ونادى عشاء فى لونج بيتش كاليفورنيا — المعماريين ريموند ورادو والإنشائيين ويدلنجر وسالڤادورى .

(شكل ٣٦١) الواجهة الغربية للمطعم .

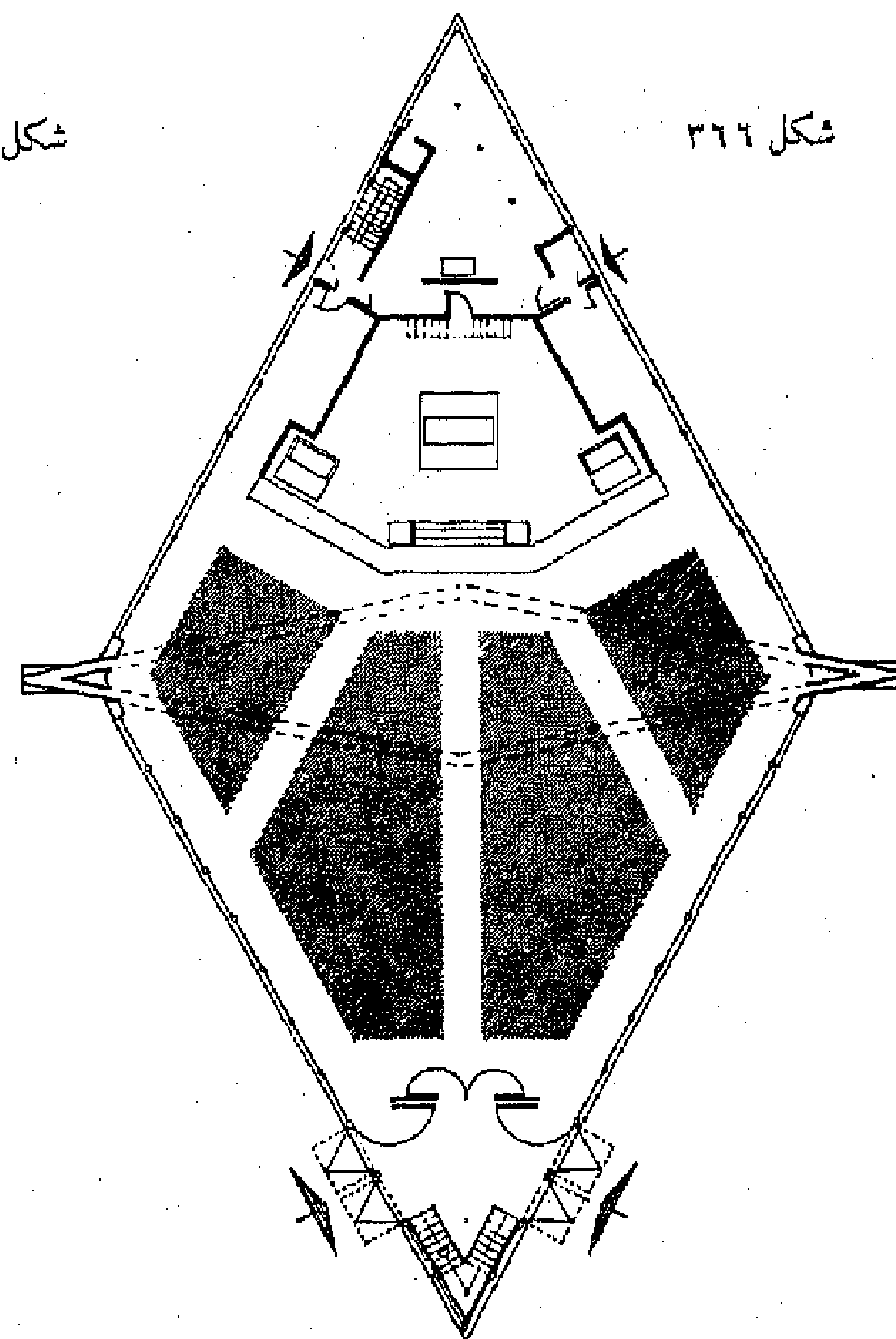
(شكل ٣٦٢) مسقط أفقى للمطعم .

(شكل ٣٦٣) مطعم لوس مانتيالس فى أكسكملكو بمكسيكو (المعمارى أوردونيز والإنشائى كندلا) .

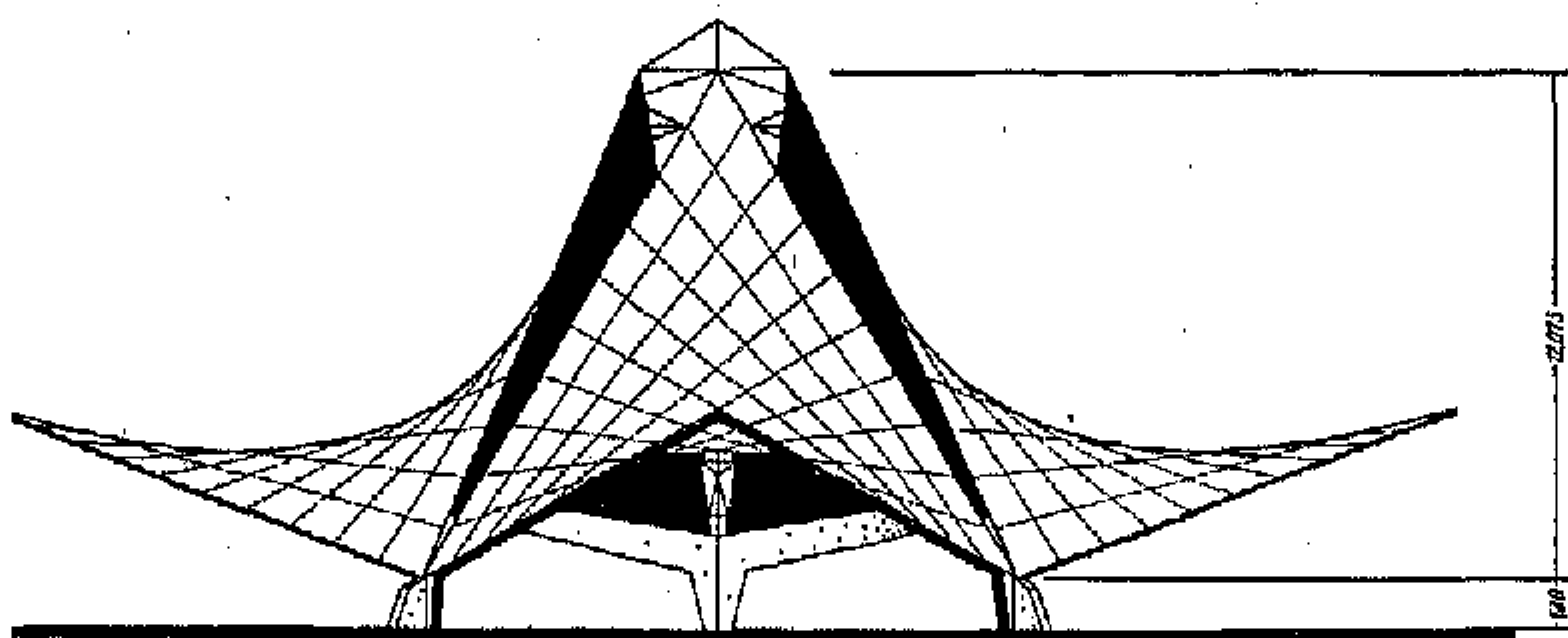
(شكل ٣٦٤) مسقط أفقى وواجهة .



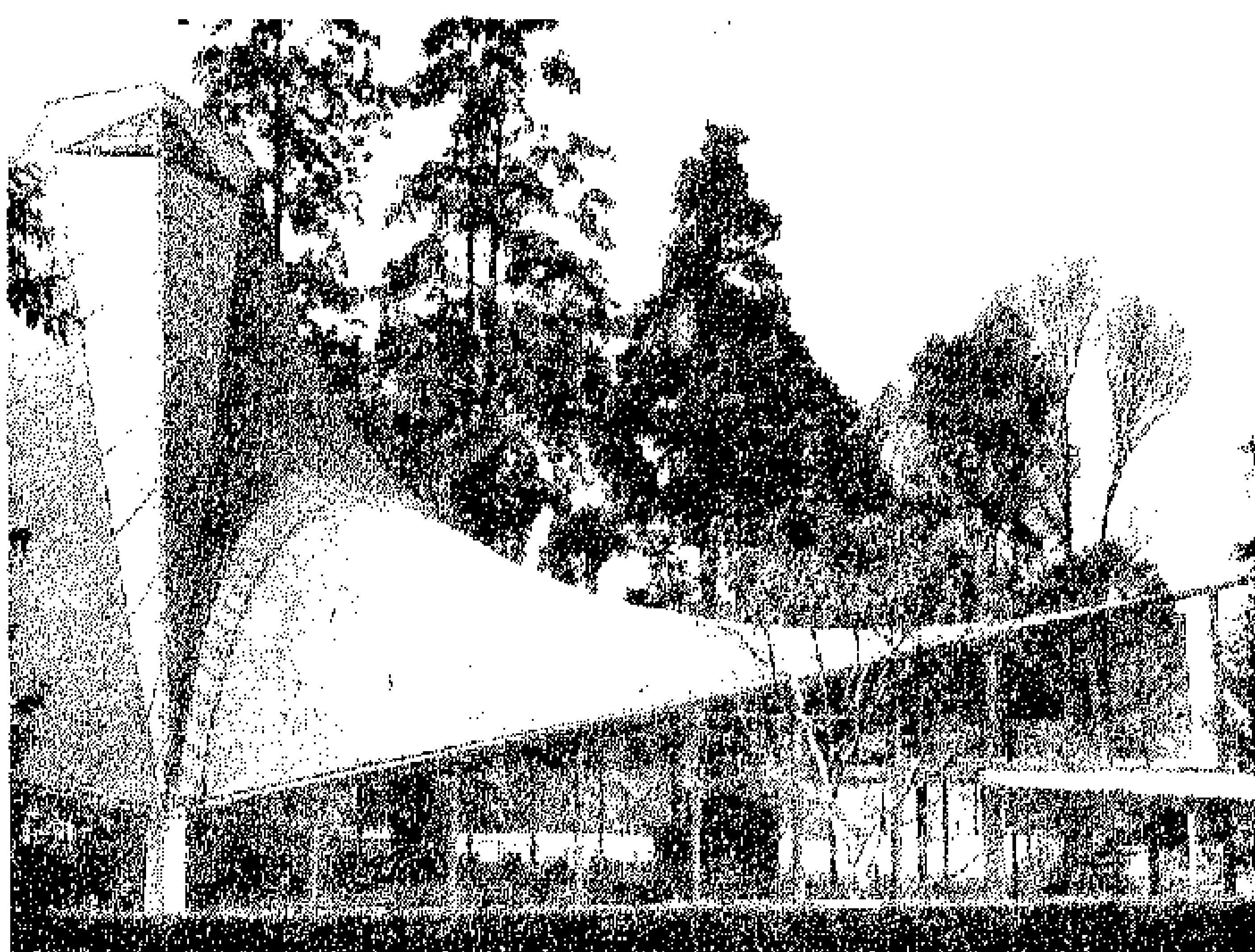
شكل ٣٦٥

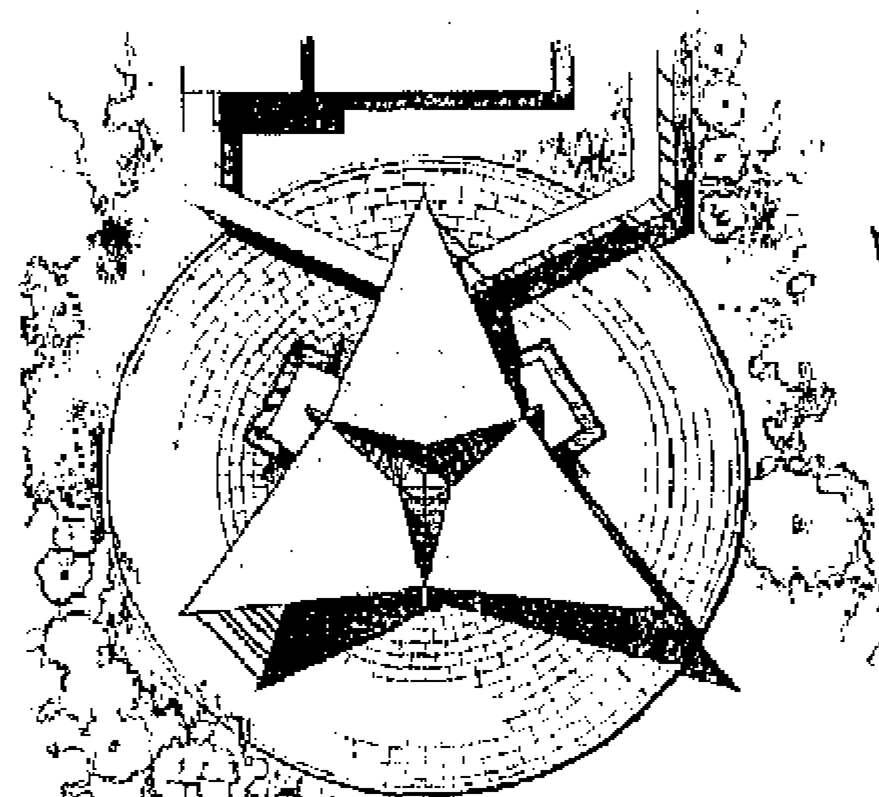


شكل ٣٦٦

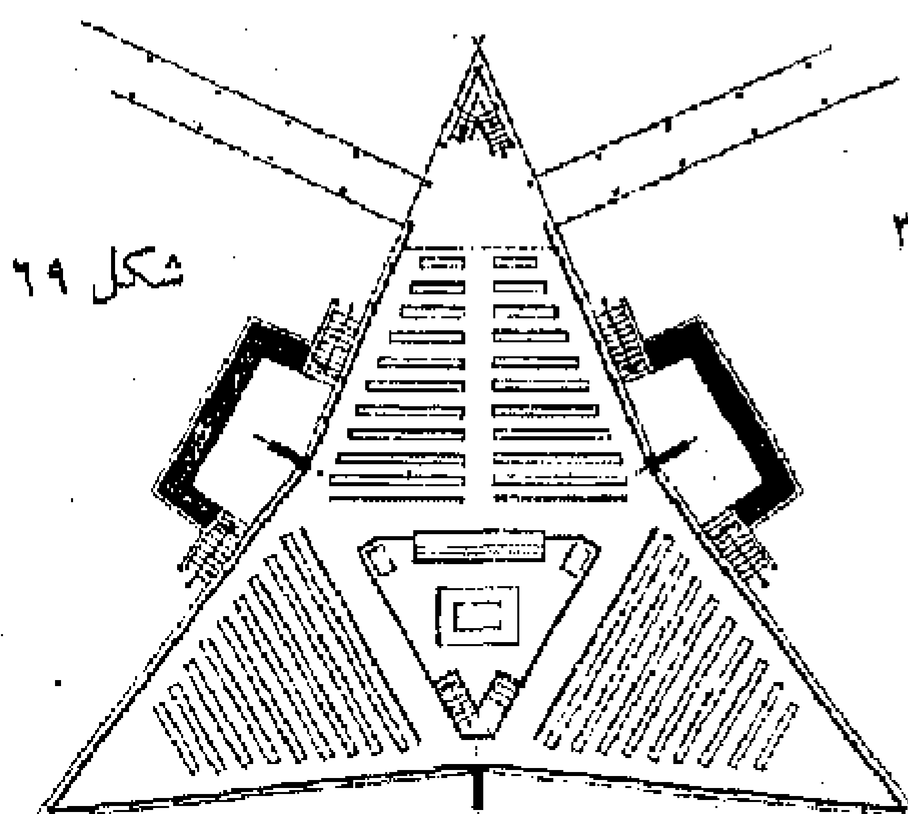


شكل ٣٦٧





شكل ٣٦٩



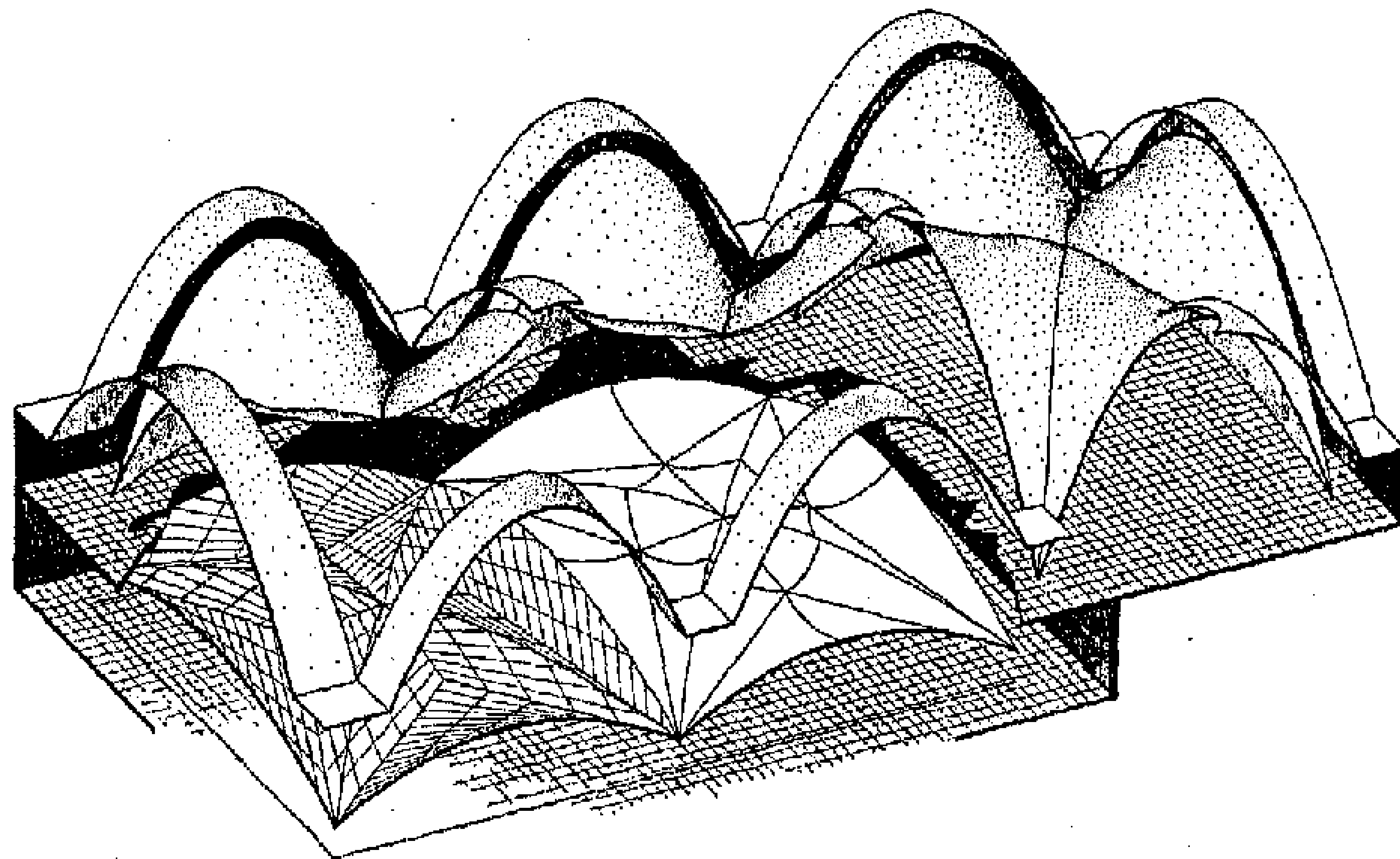
شكل ٣٦٨

تجميعات وحدات قطاع زائدى مكافئ

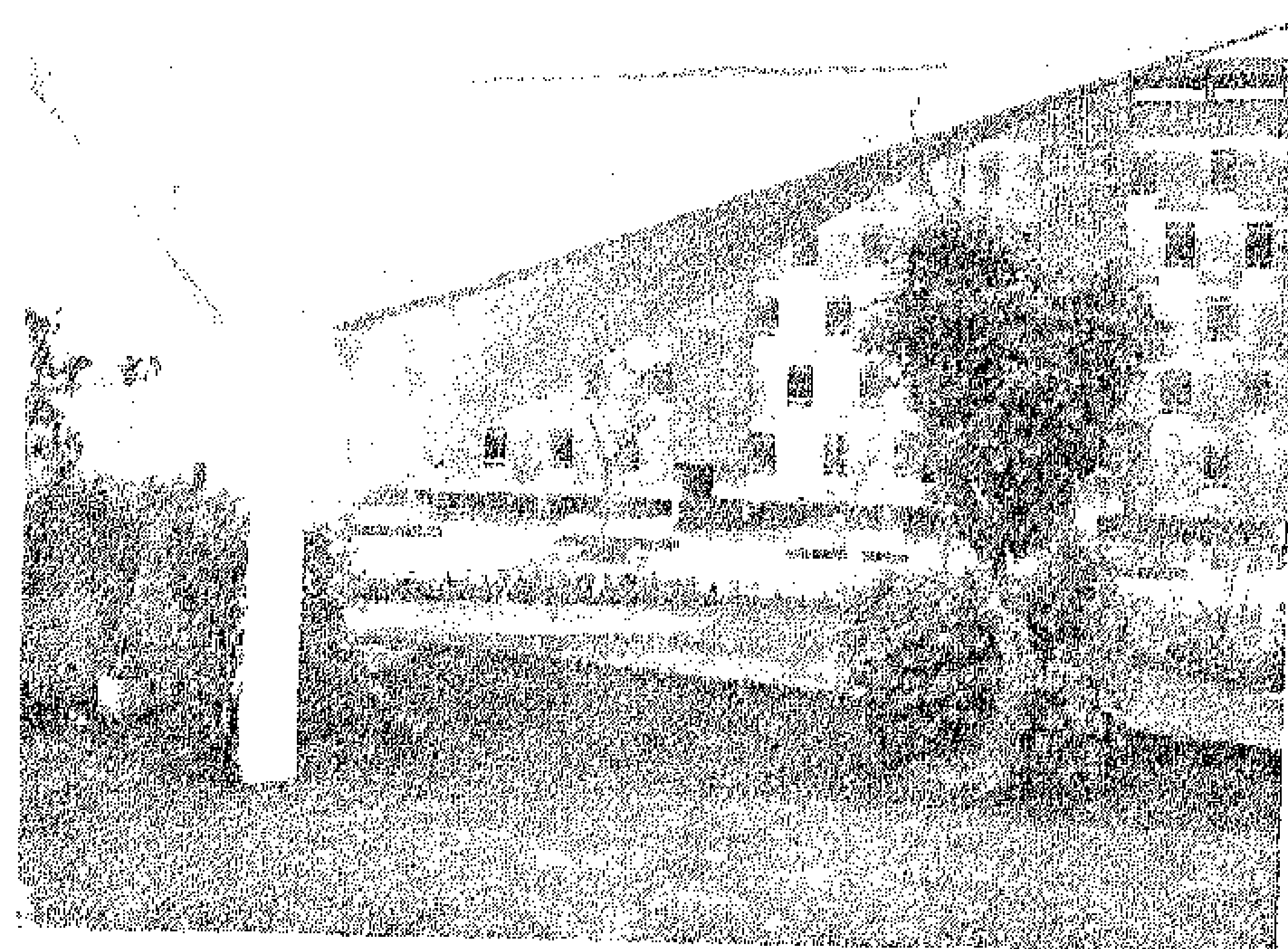
أعمال المعمارى لامورا والإنشائى كاندلا

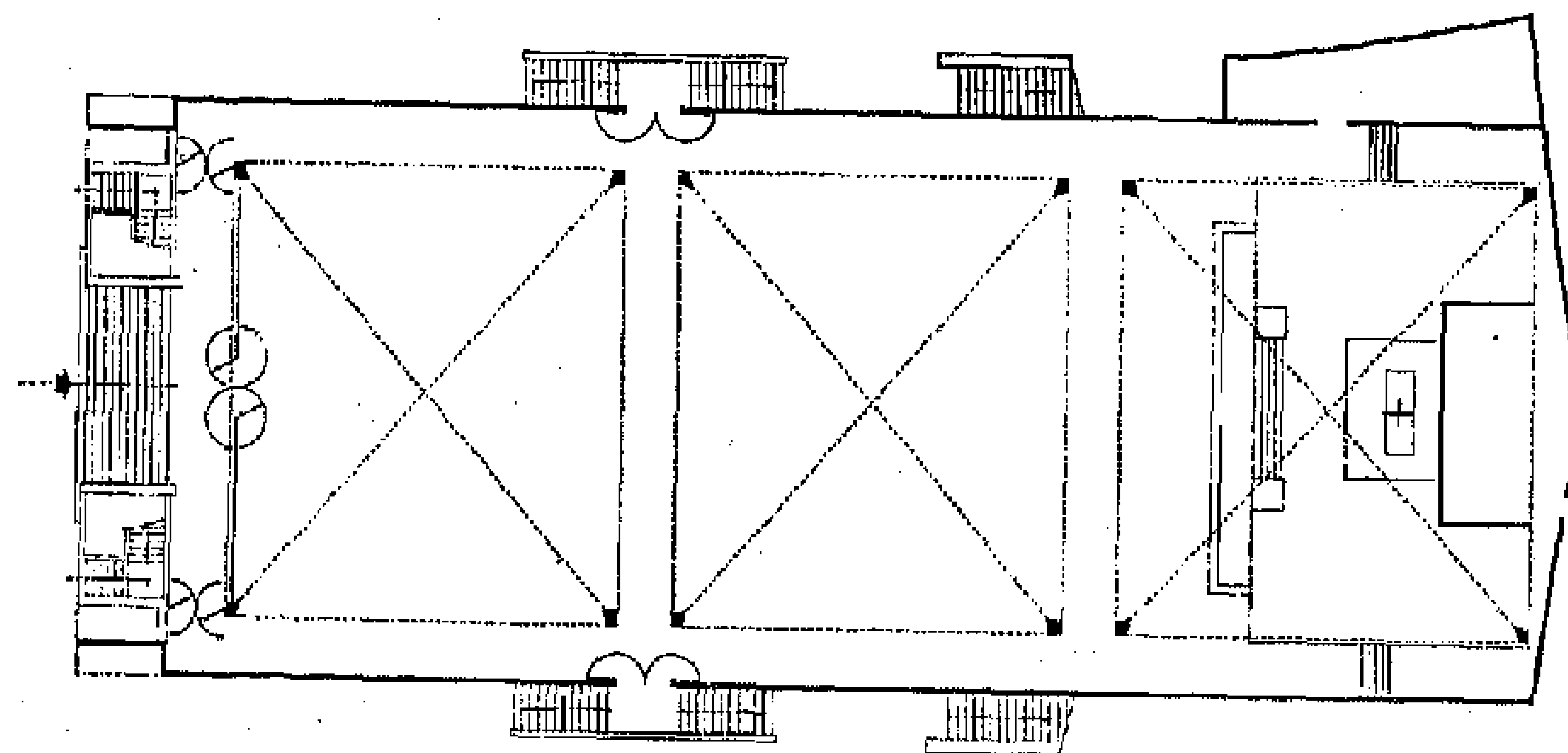
(شكل ٣٦٥) كنيسة سان جوزية أوبريرو بمدينة مونترى بمكسيكو.
(شكل ٣٦٦) مسقط أفقى للكنيسة .
(شكل ٣٦٧) واجهة كنيسة سانت فنسينت فى كويواسان فى مكسيكو .
(شكل ٣٦٨) مسقط للدور الأرضى .
(شكل ٣٦٩) مسقط عام للموقع .
(شكل ٣٧٠) واجهة .

شكل ٣٧٢



شكل ٣٧١





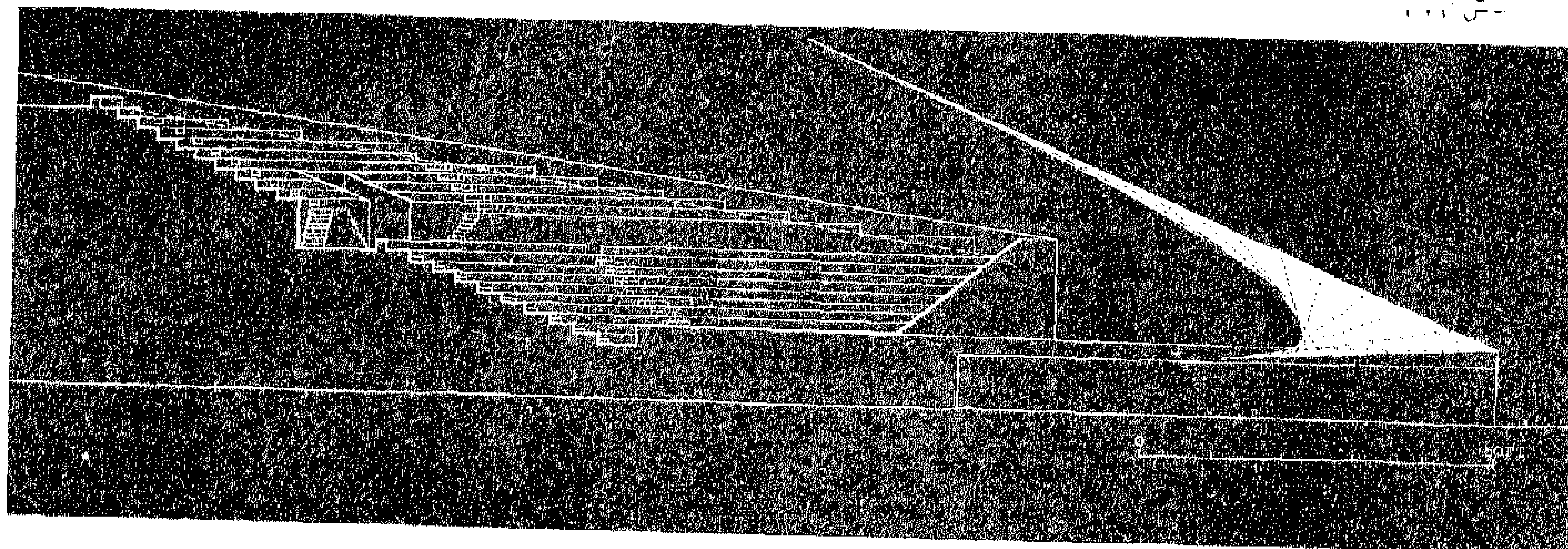
تجميعات وحدات قطاع زائدى مكافئ

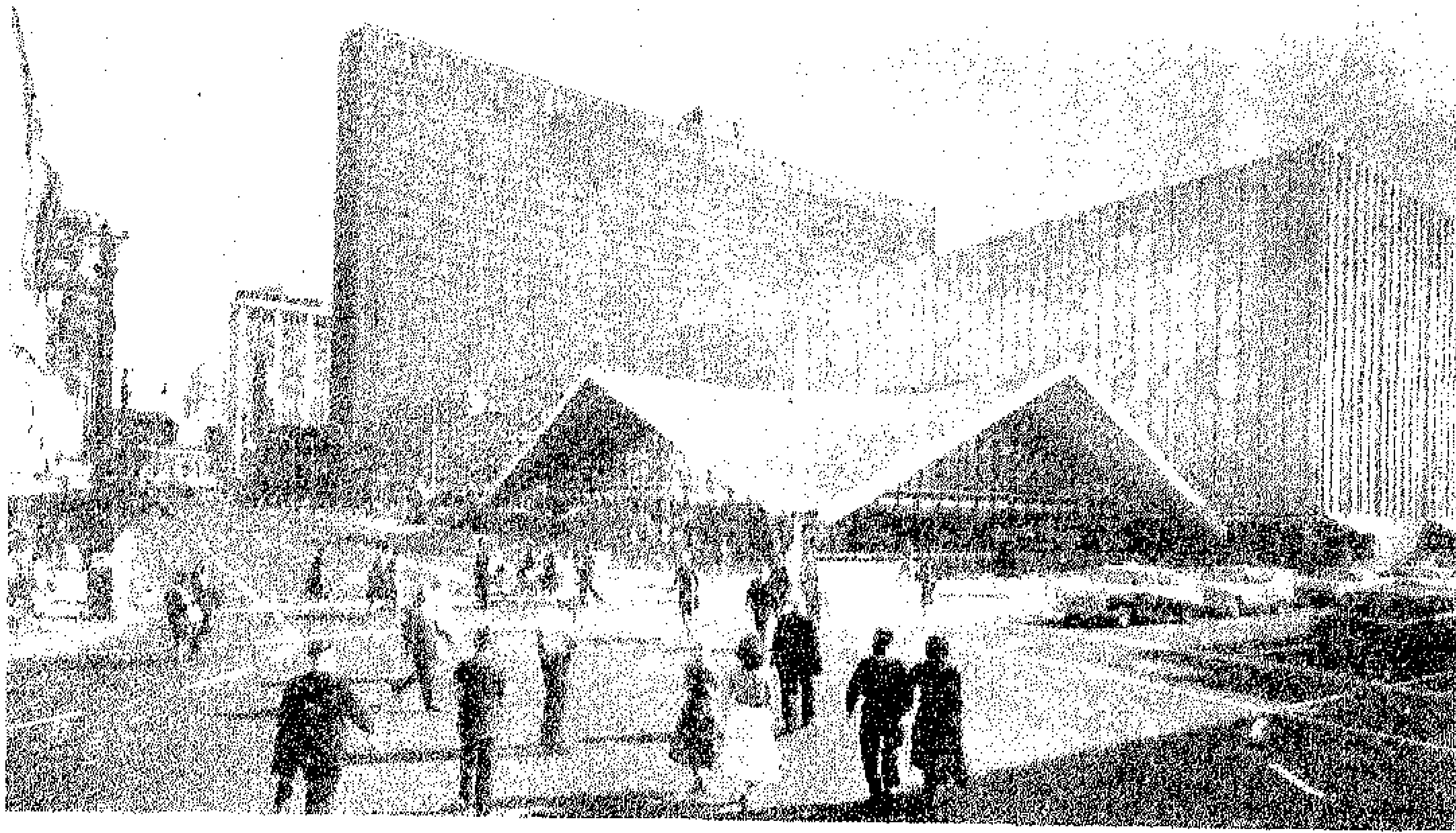
(شكل ٣٧١) منظور ومسقط أفقى لكنيسة سان أنطونيو دى لاس هيورتاس بمدينة تاكوبا بمكسيكو (المعمارى لامورا والإنشائى كاندلا).

(شكل ٣٧٢) سقيفة موسيقى للحفلات الخارجية فى المشروع الإسكانى لمؤسسة التأمينات الاجتماعية بمدينة مكسيكو سنة ١٩٥٦ (المعمارى مارزيانى والإنشائى كاندلا).

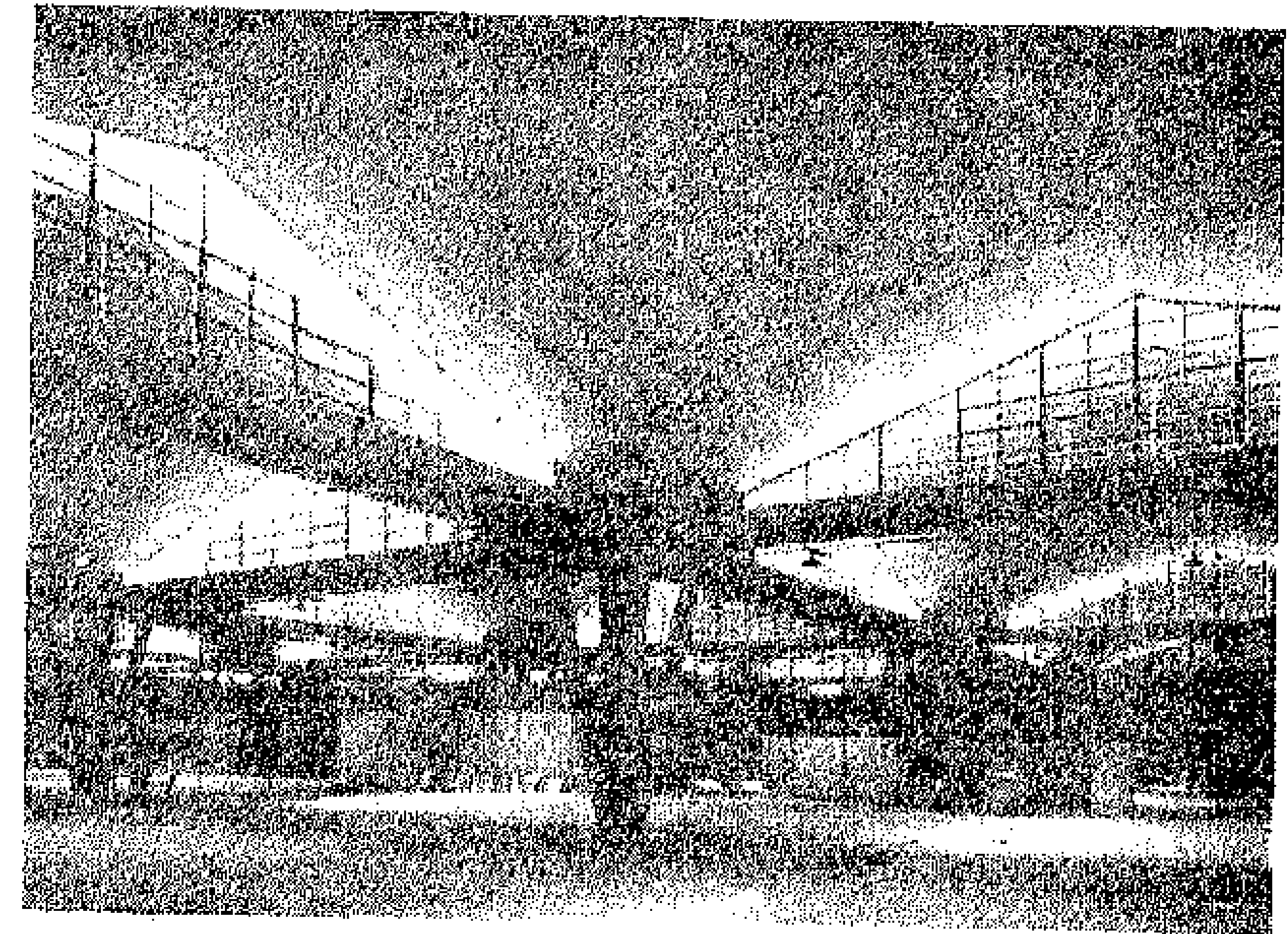
(شكل ٣٧٣) تصميم لسقيفة موسيقى لمدرسة فى جودالاچارا بمكسيكو.

شكل ٣٧٣





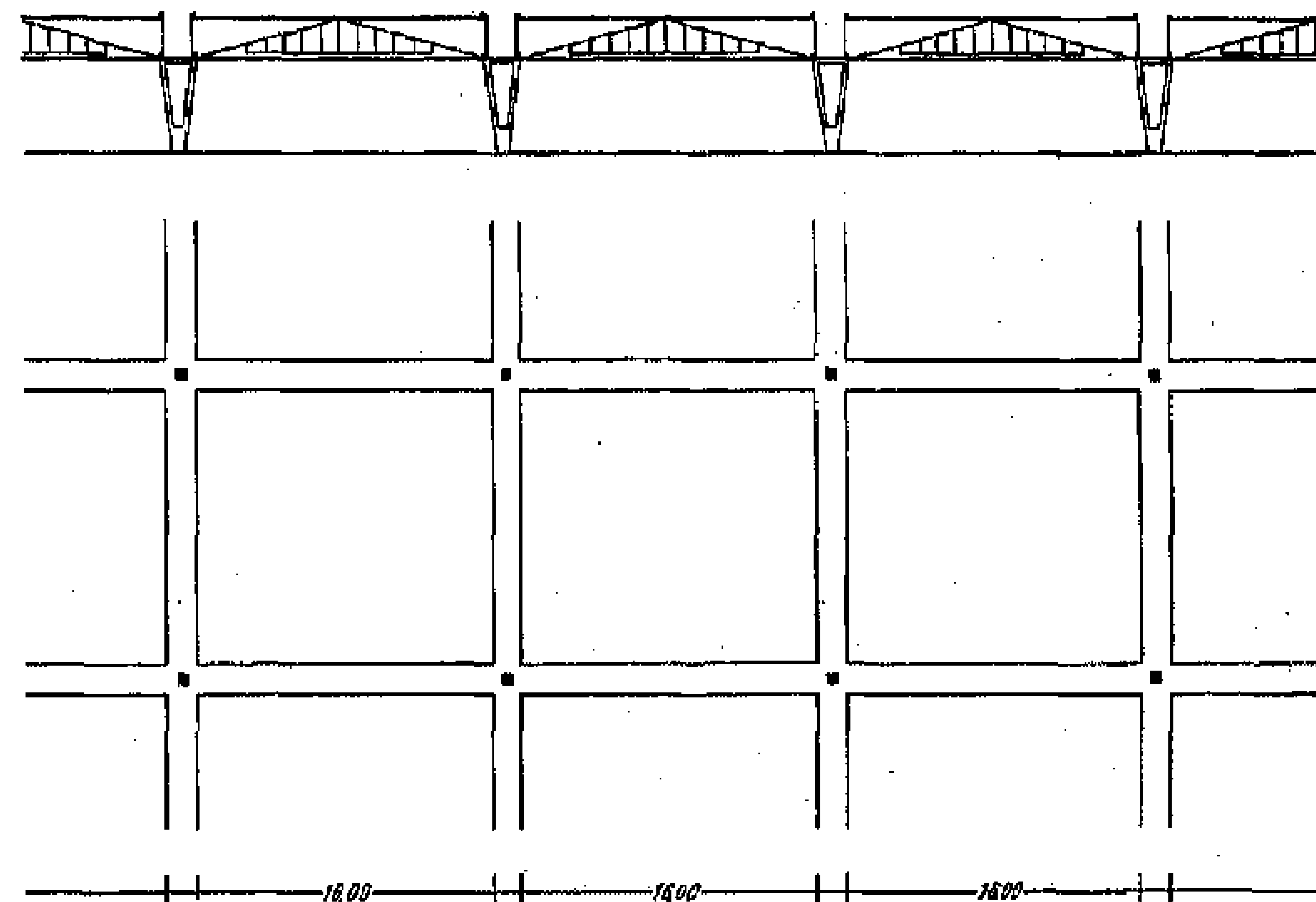
شكل ٣٧٤



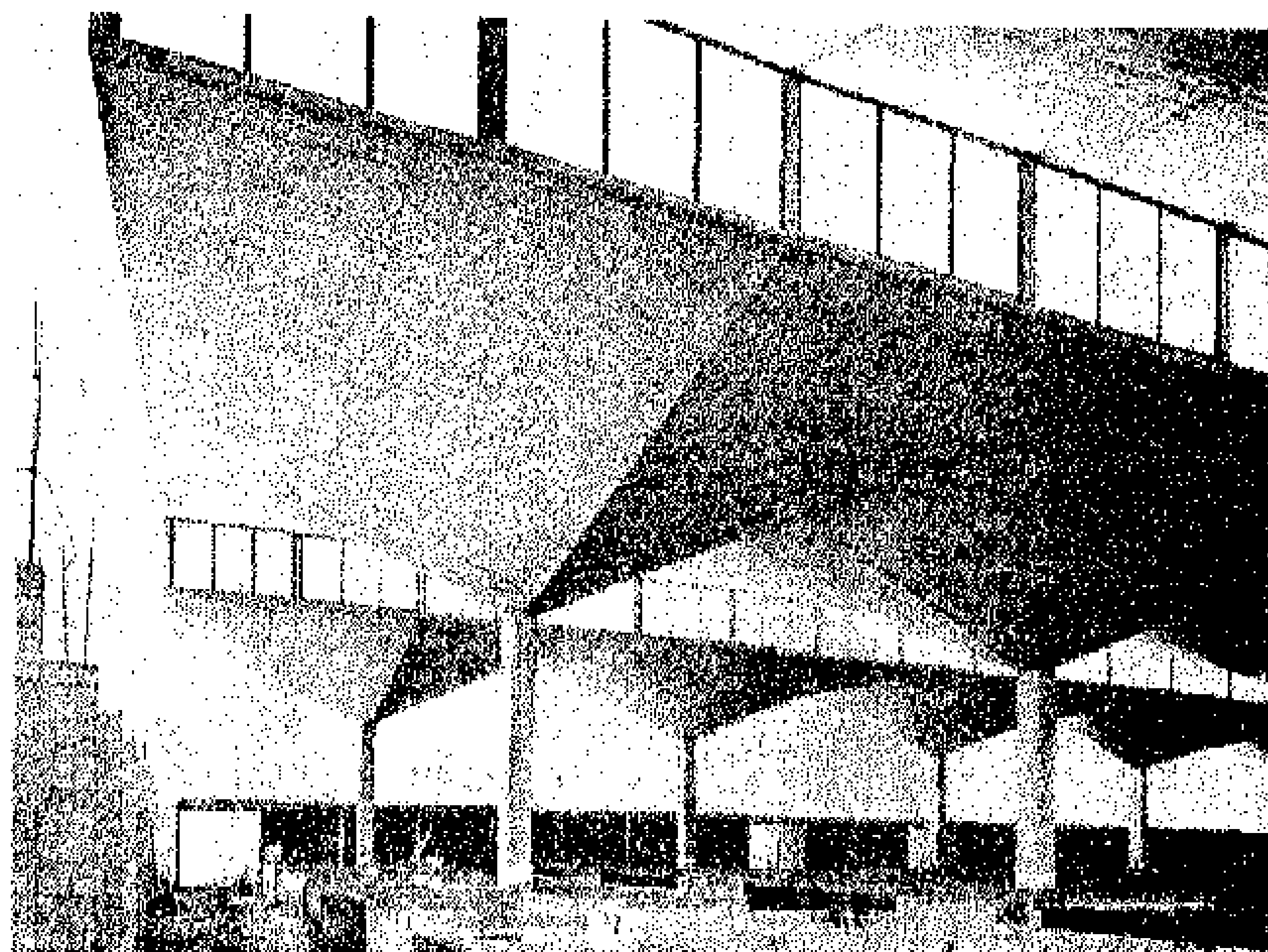
شكل ٣٧٥

تجميعات وحدات قطاع زائدى مكافئ

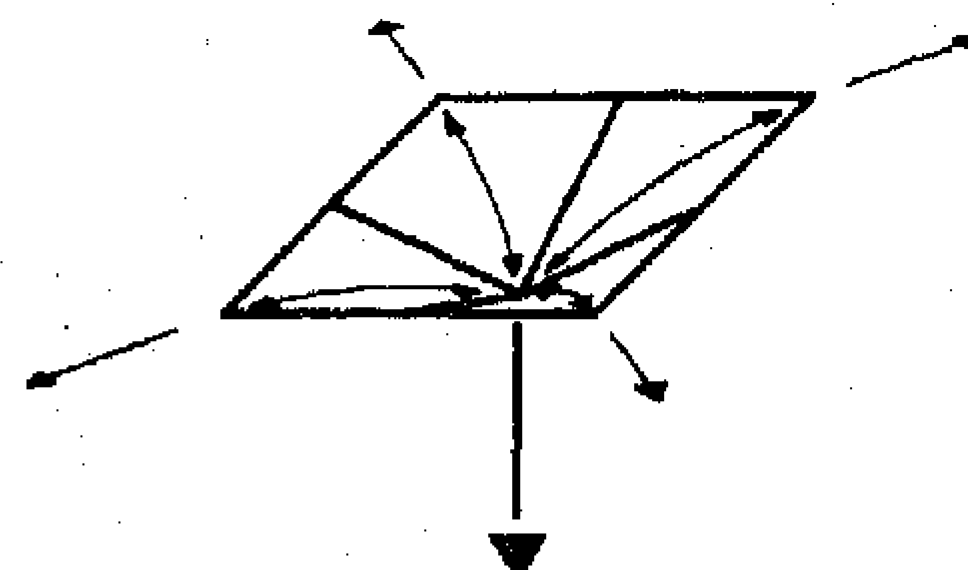
(شكل ٣٧٤) مدخل محلات ماى بدنفر كالورادو (المعمارى باى وشركاه والإنشائى روبرتز وشيفر) .
(شكل ٣٧٥) مصانع هيرديز فى تاكوبا بمكسيكو (الإنشائى كاندلا) منظور داخلى .
(شكل ٣٧٦) مسقط للباكيات وقطاع .
(شكل ٣٧٧) اضاءة علوية بين وحدات حاملة فى صالة سوق بمكسيكو (الإنشائى كاندلا) — منظور داخلى .
(شكل ٣٧٨) مصانع لامكس فيوبتى دى ڤيجاس بمكسيكو . (الإنشائى كاندلا) — منظور خارجى وقطاع بالوحدة المائلة .

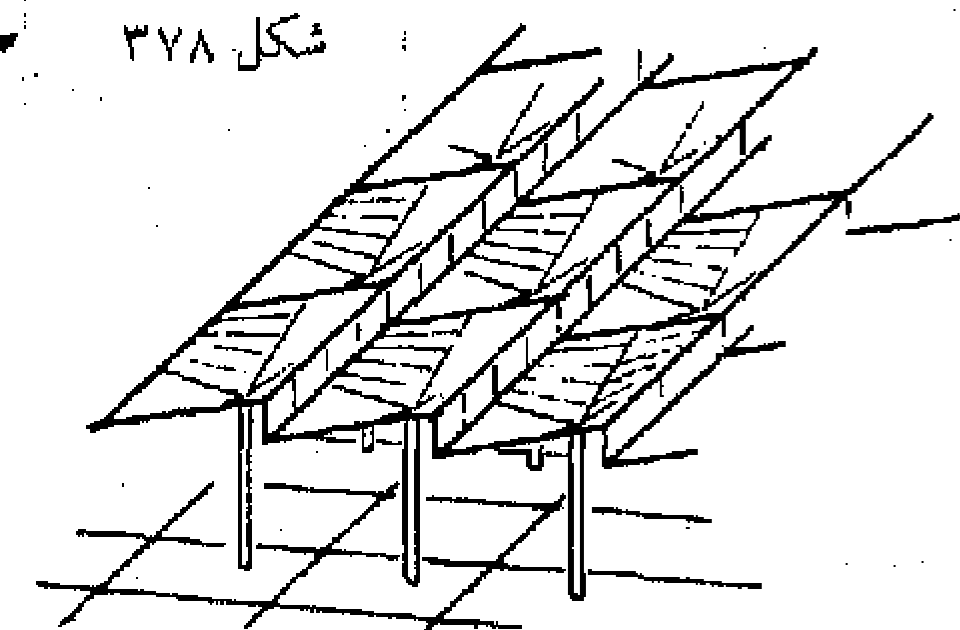


شكل ٣٧٦

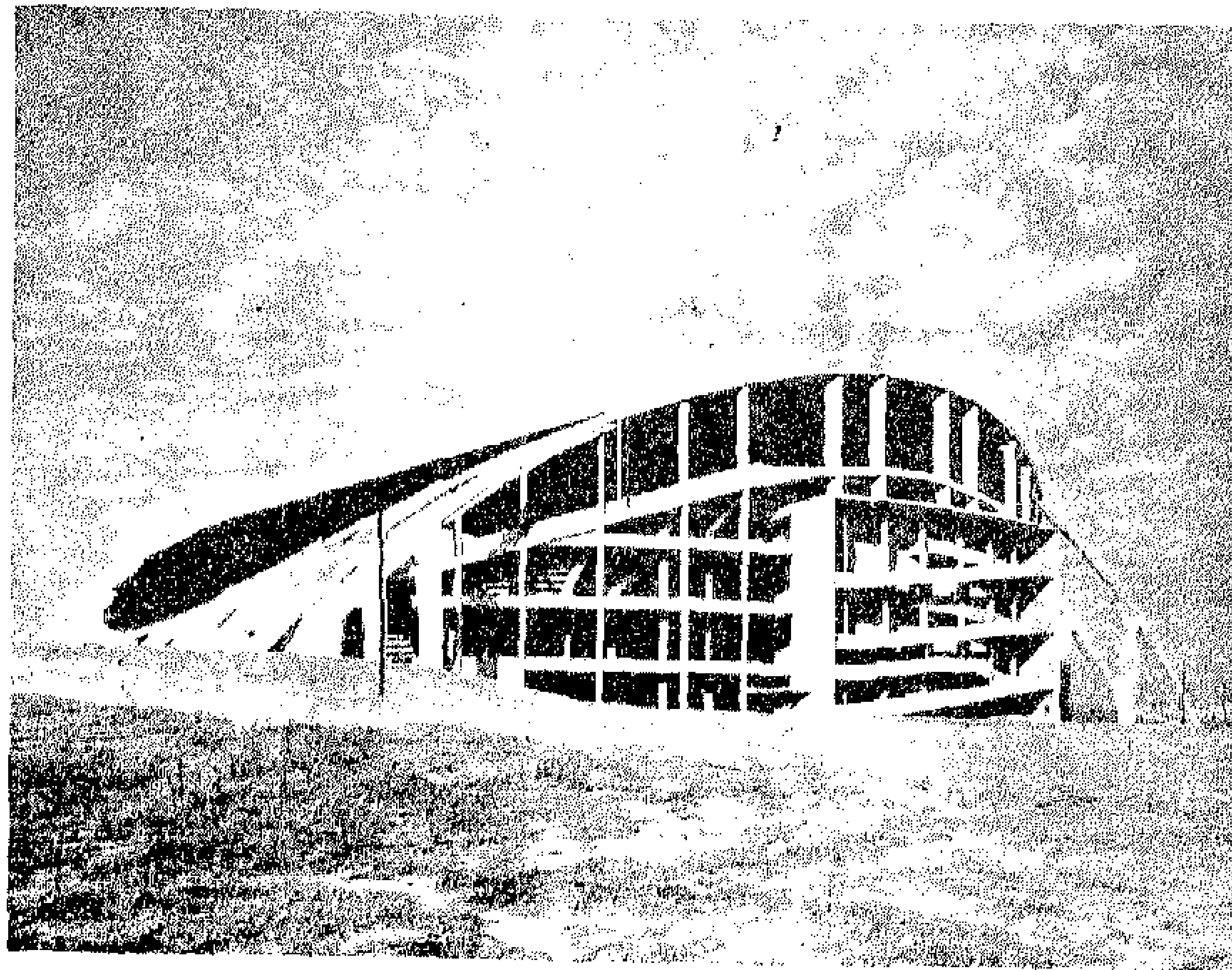


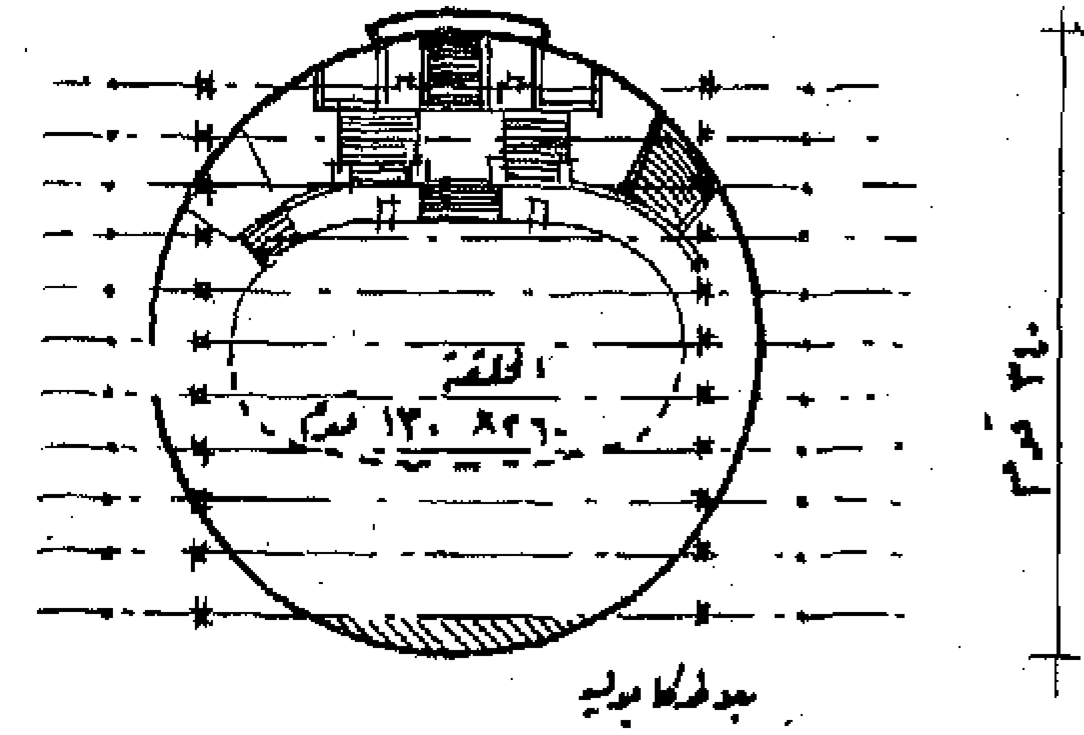
شكل ٣٧٧





شكل ٣٧٨





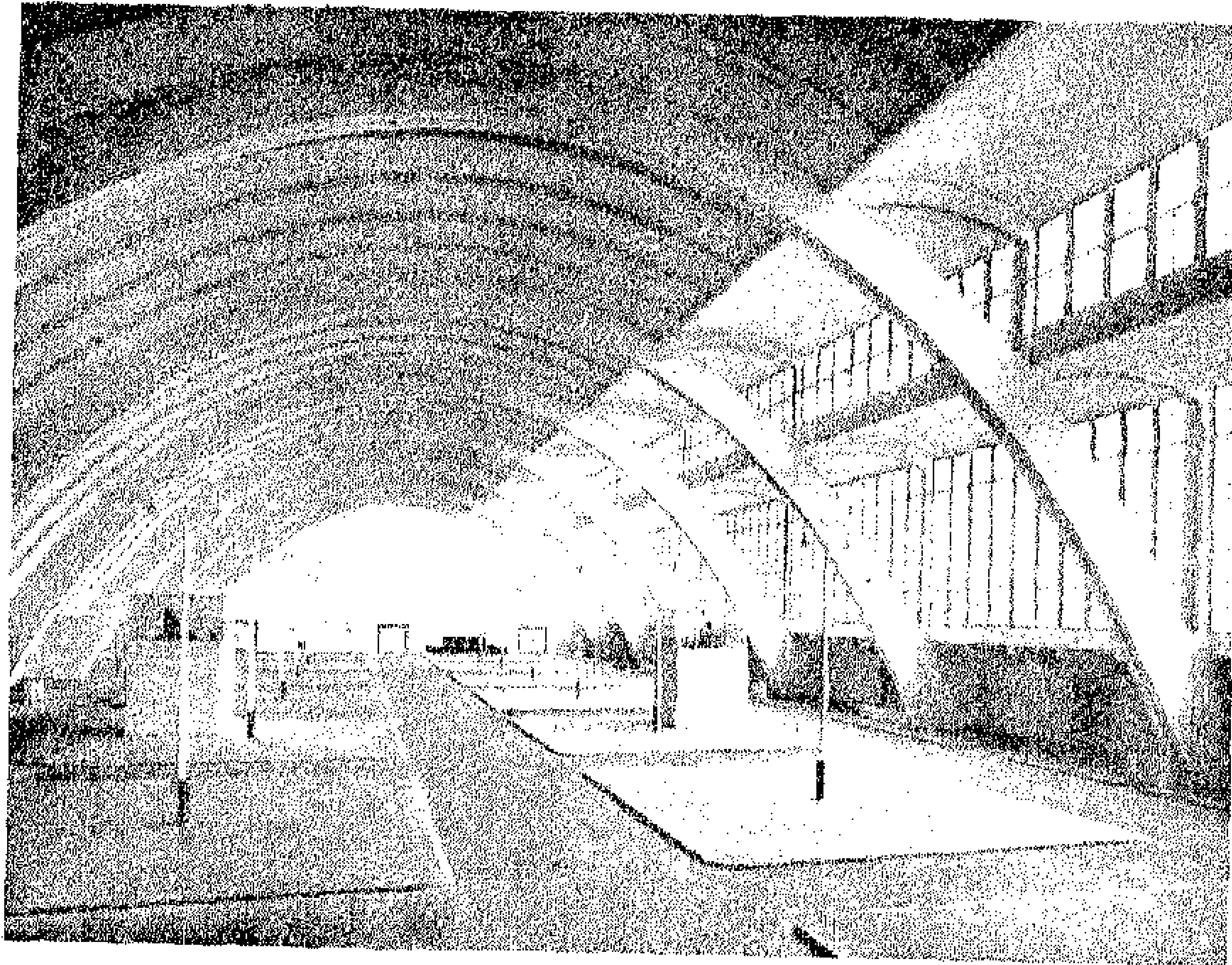
شكل ٣٧٩

الوحدات المفردة الانحناء — قبوات قصيرة

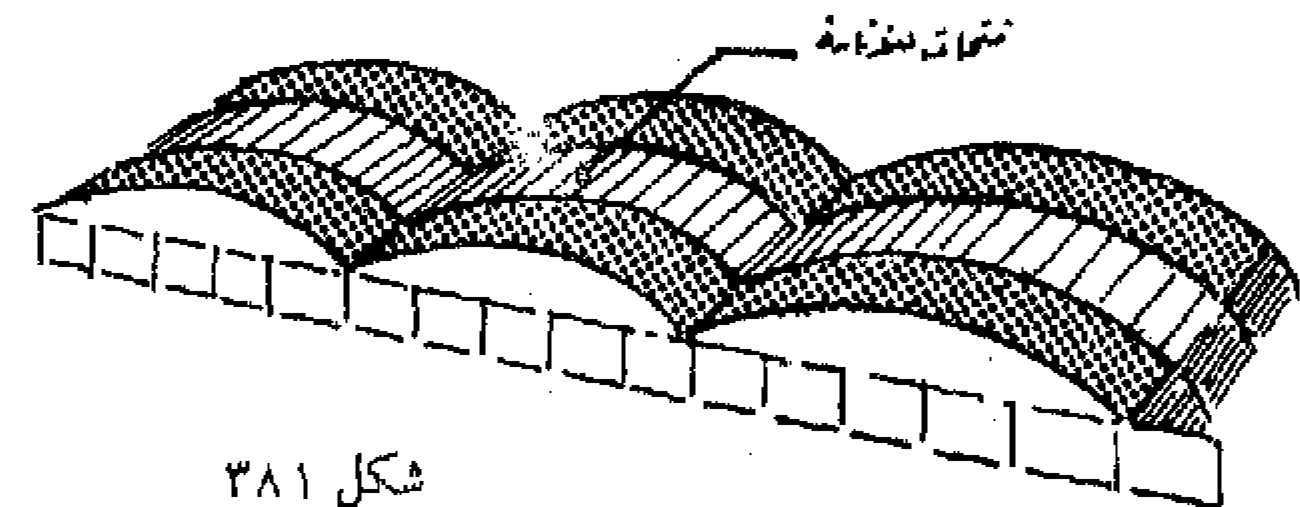
(شكل ٣٧٩) مسقط ومنظور لمعرض الماشية بمدينة مونتجمرى بولاية ألاباما .

(شكل ٣٨٠) صالة سوق مدينة كولونيا بألمانيا (بحر ٦٦ متراً وعرض ٥٠ مترا) .

(شكل ٣٨١) قبوات قصيرة متداخلة لحظائر الطائرات .

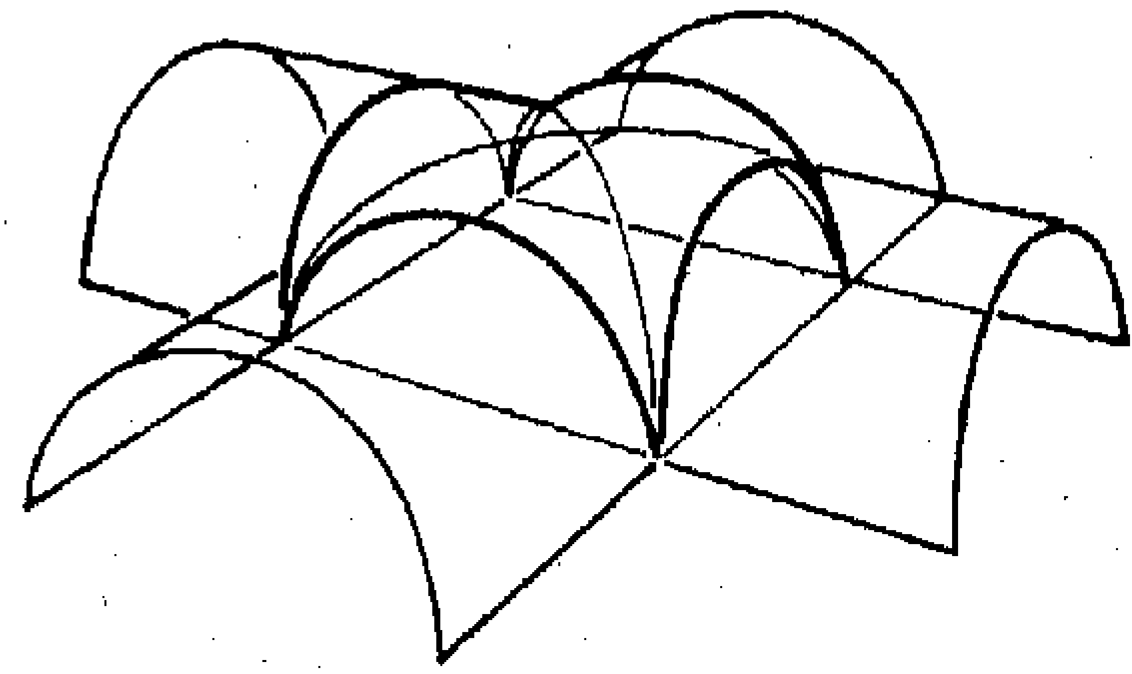


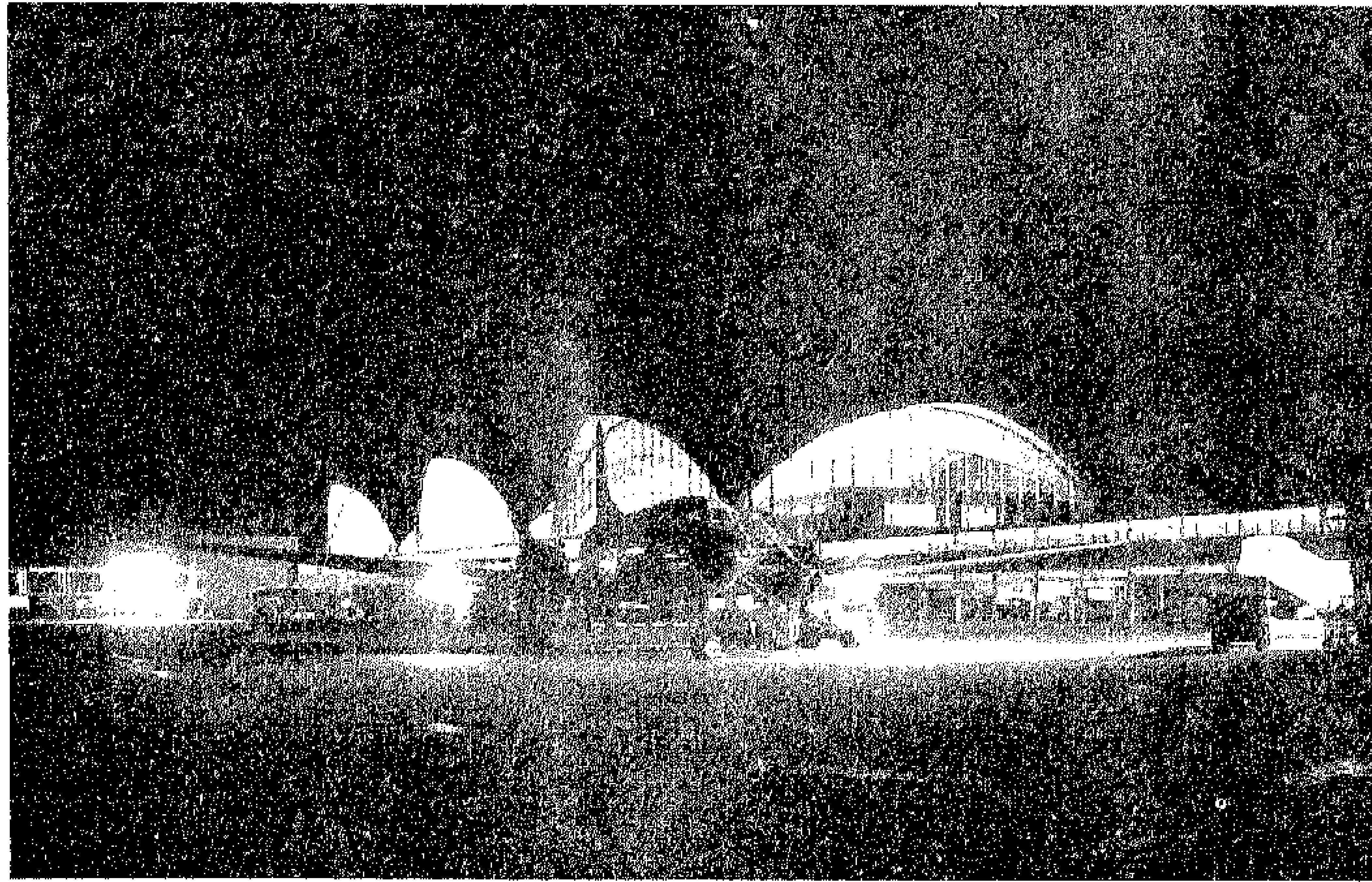
شكل ٣٨٠



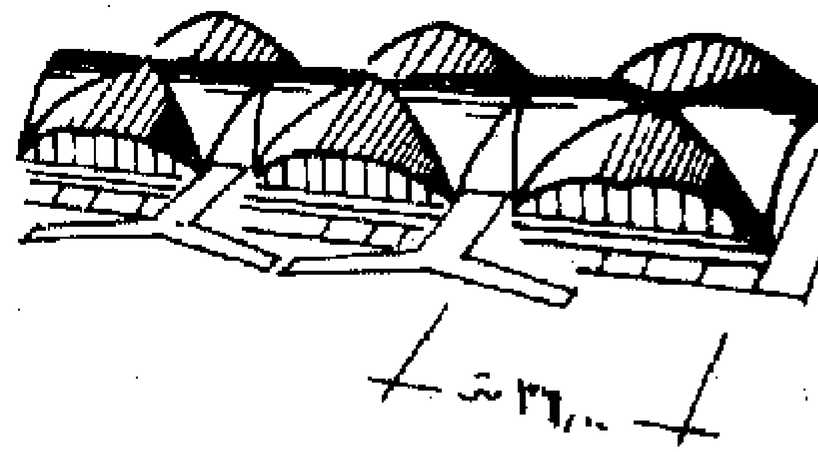
شكل ٣٨١

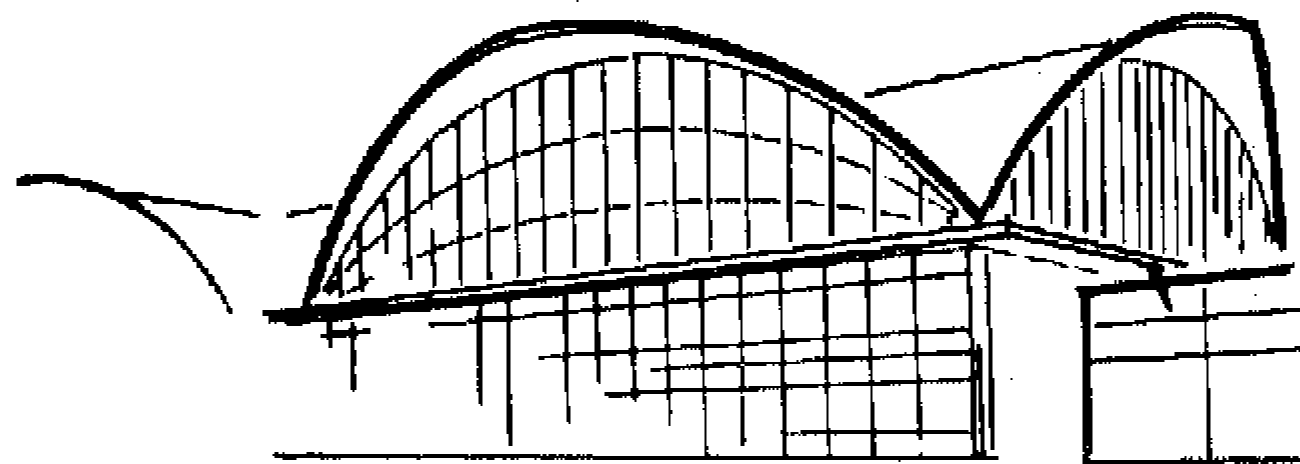


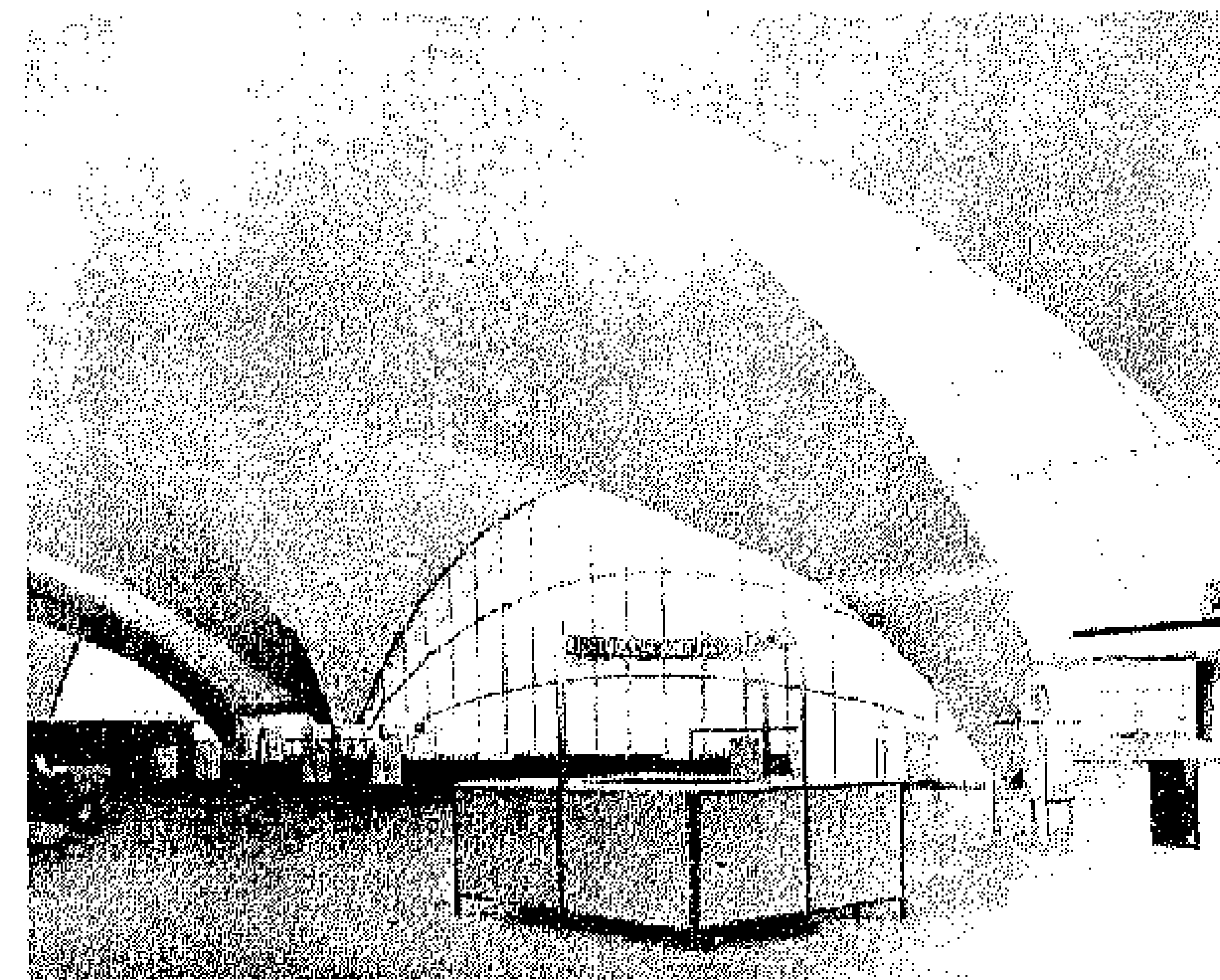




شكل ٣٨٢

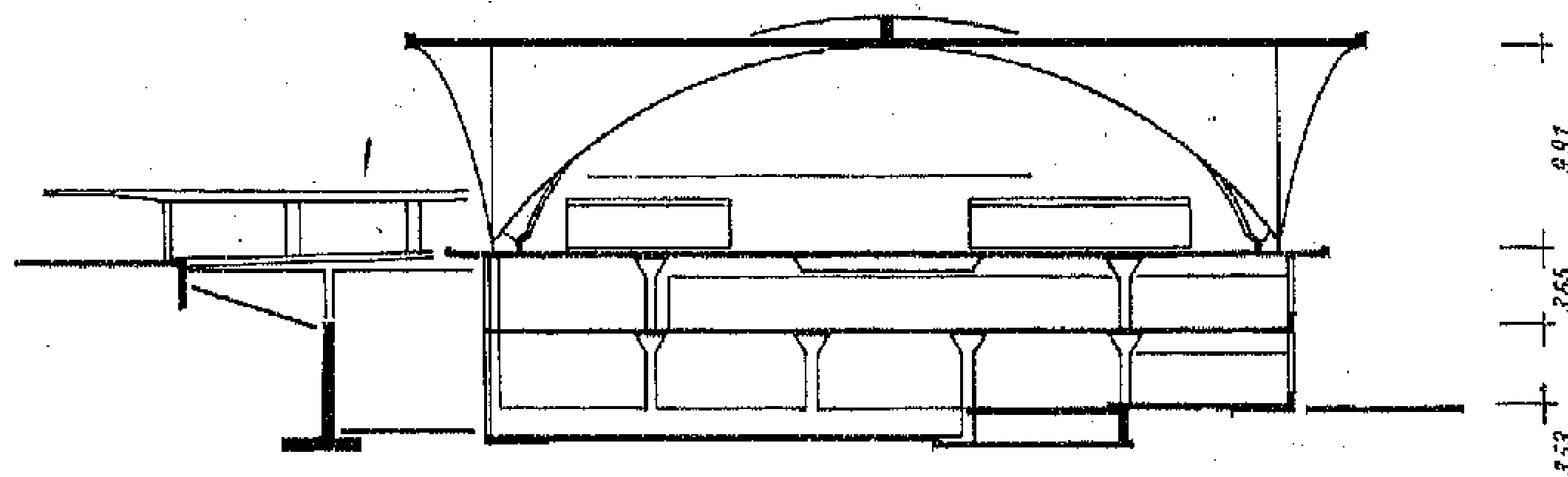






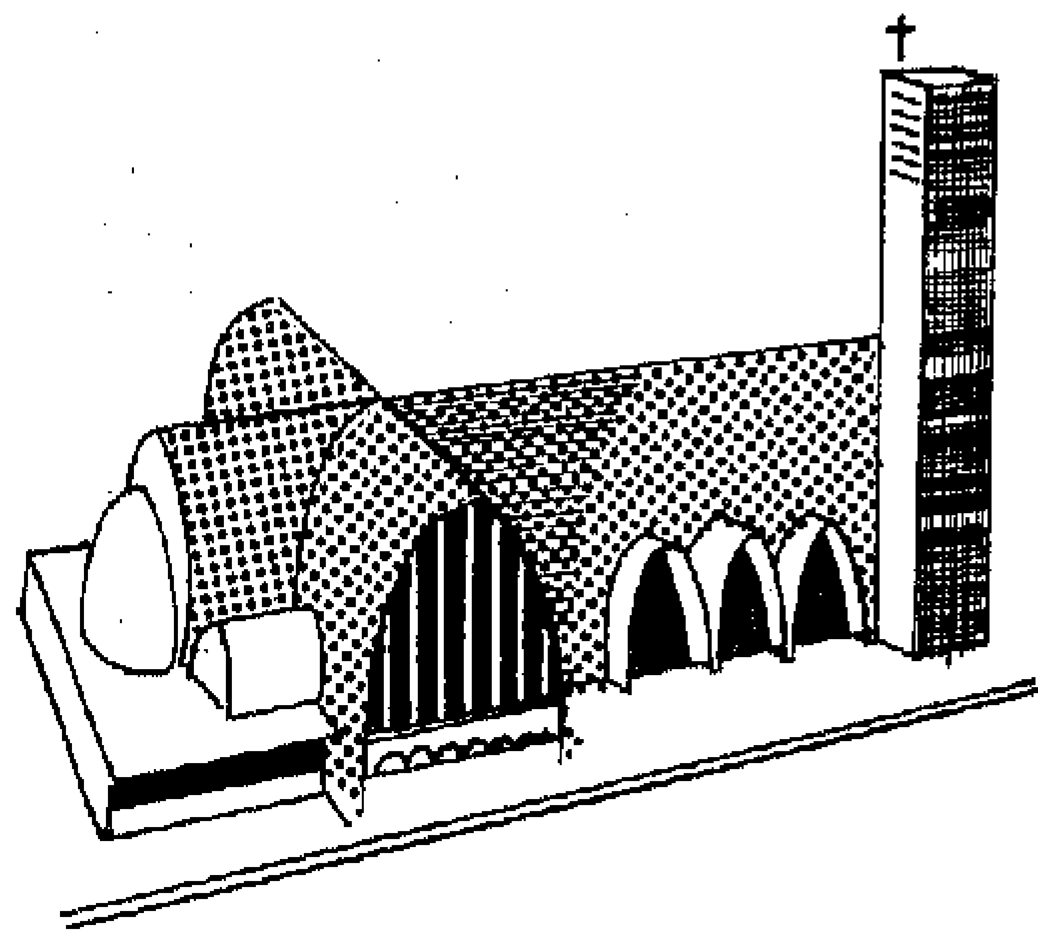
شكل ٣٨٤

شكل ٣٨٣

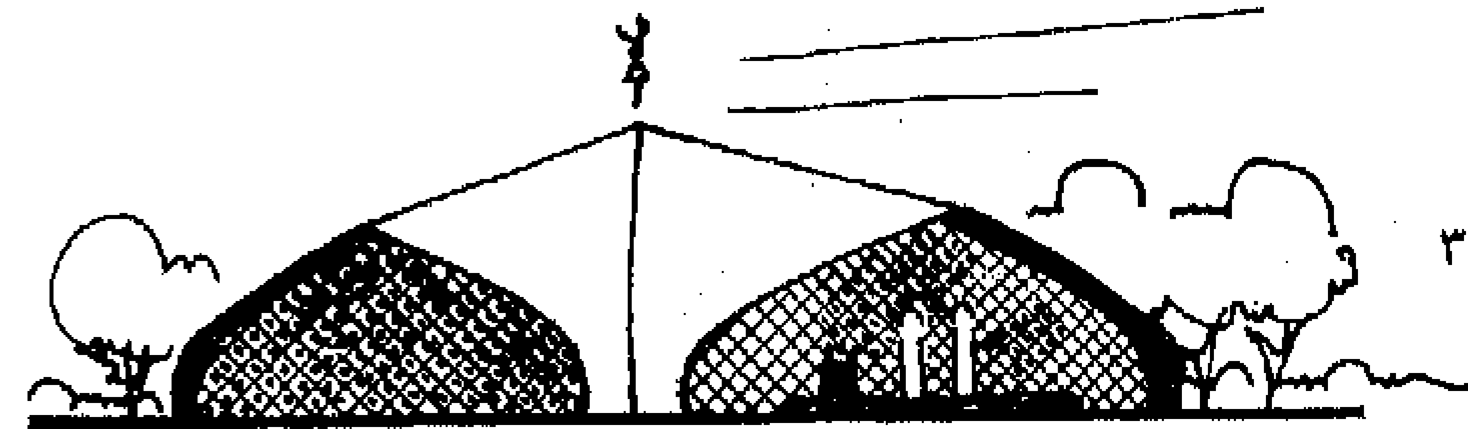


الوحدات مفردة الأنحناء المتقاطعة

(شكل ٣٨٢) محطة مطار سانت لويس النهائية بولاية ميسورى (المعماريين ياما ساكى ولينوبر وشركاهم ، الإنشائيون روبرتز وشيفر) .
(شكل ٣٨٣) قطاع عرضى .
(شكل ٣٨٤) منظور داخلى .

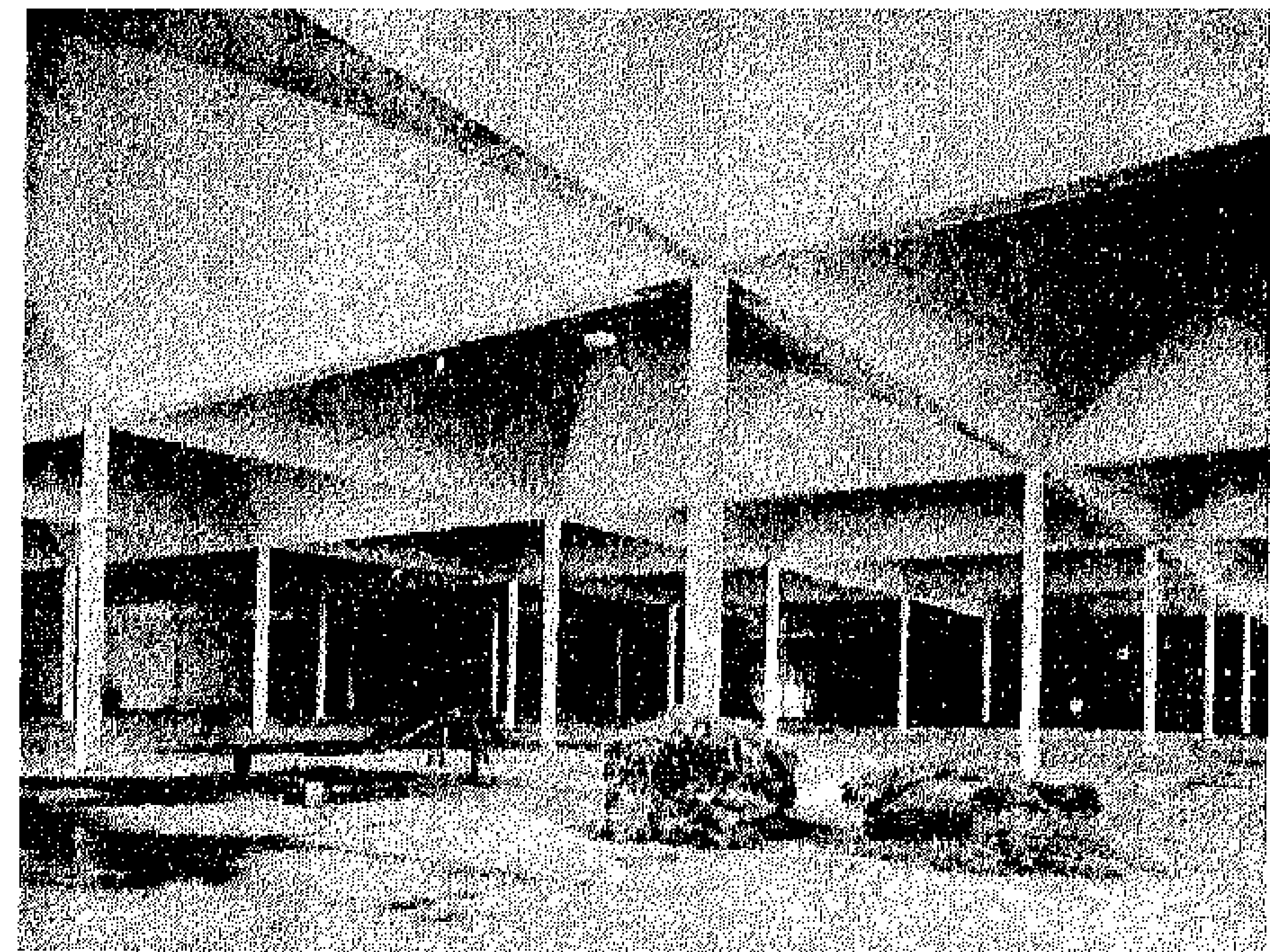


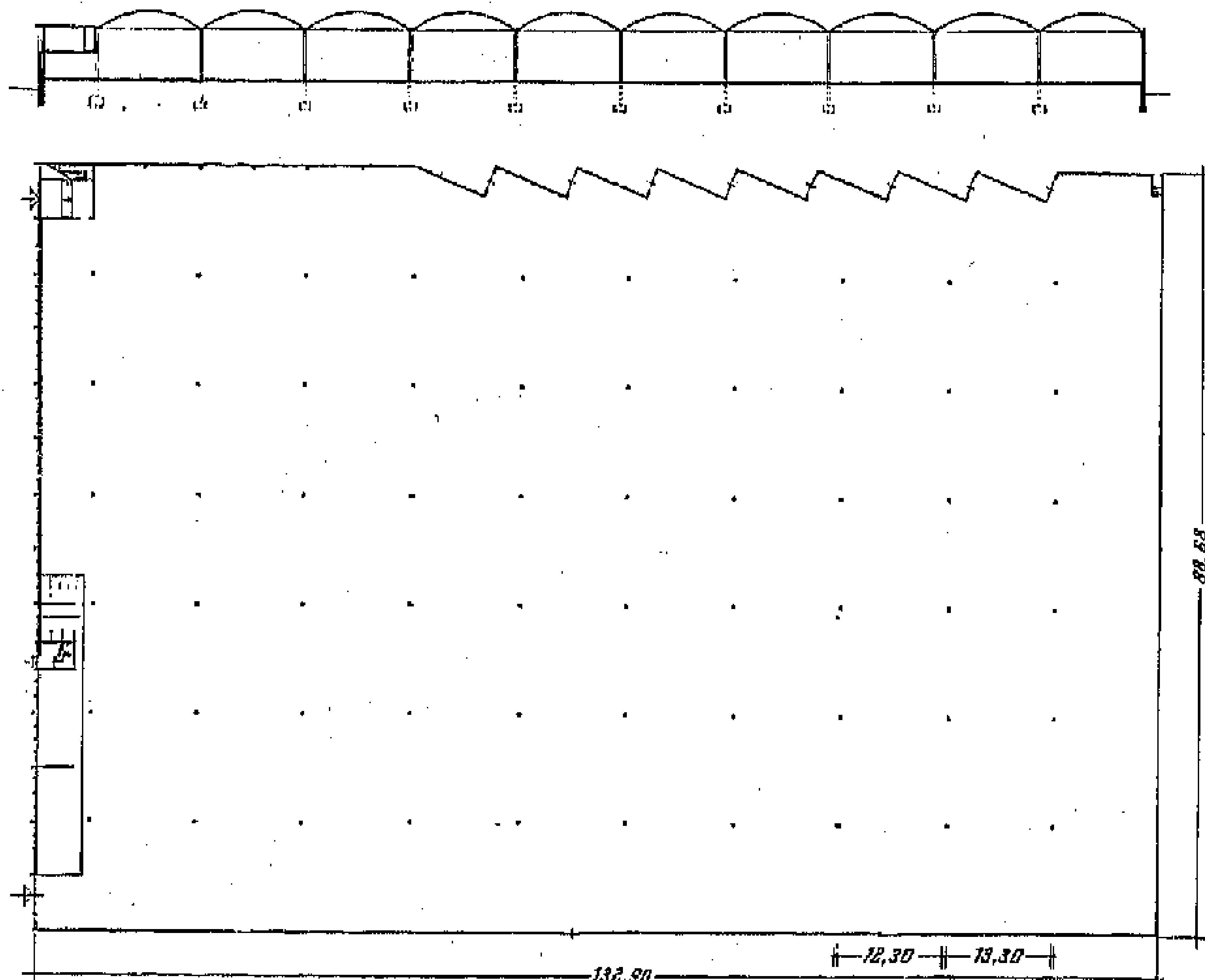
شكل ٣٨٥



شكل ٣٨٦





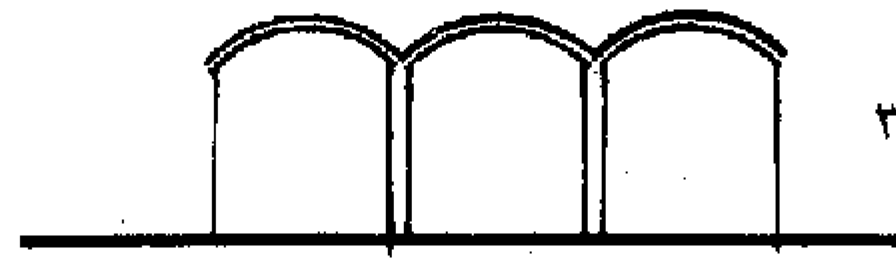


شكل ٣٨٧

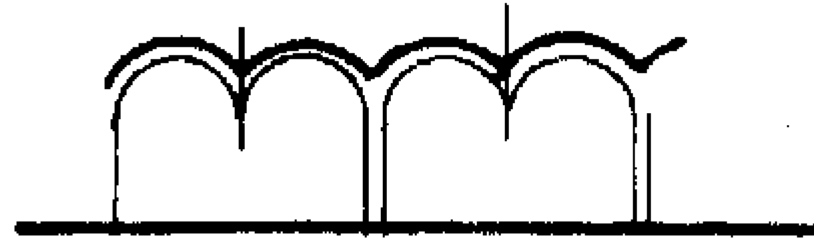
الوحدات مفردة الانحناء المتقاطعة

(شكل ٣٨٥) كنيسة بيورزما – مونتيرى بمكسيكو .
(شكل ٣٨٦) تجمعيات لأقبيـــة الأفقية على مساقط مربعة .
(شكل ٣٨٧) مخزن المنتجات لمصانع دنلوب فى هاناوى بألمانيا – منظور داخلى ومسقط أفقى وقطاع .

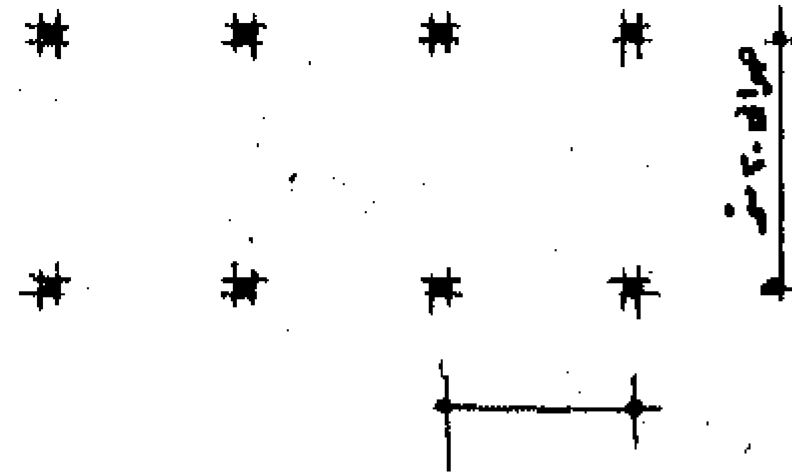
الكوابيل

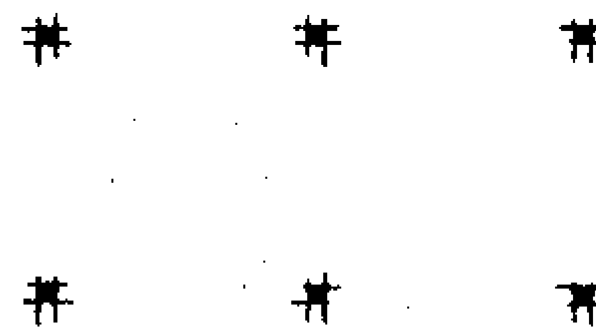


شكل ٣٨٨



شكل ٣٩١

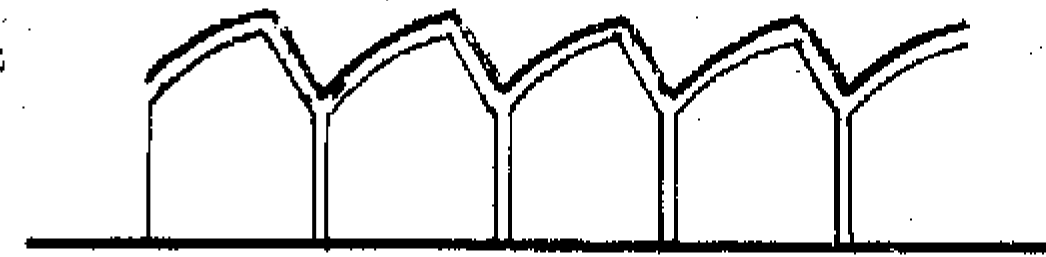




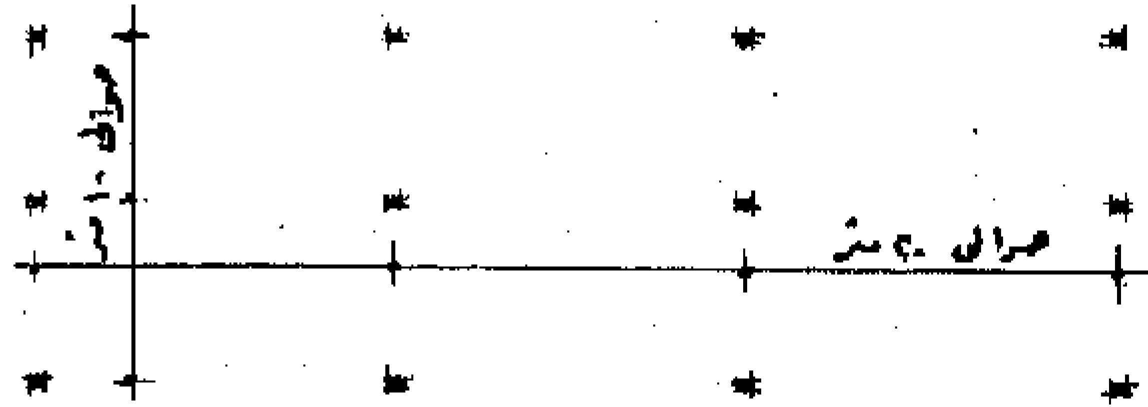
٣٨٩

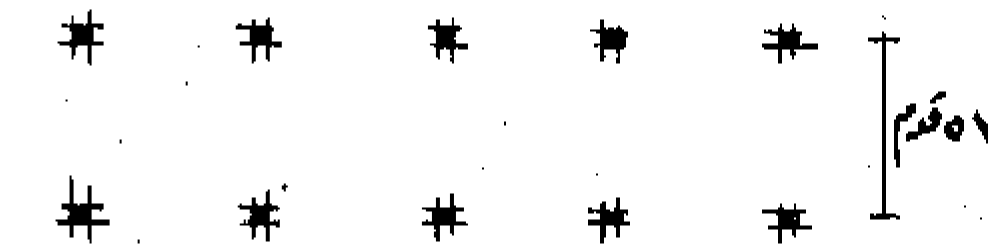


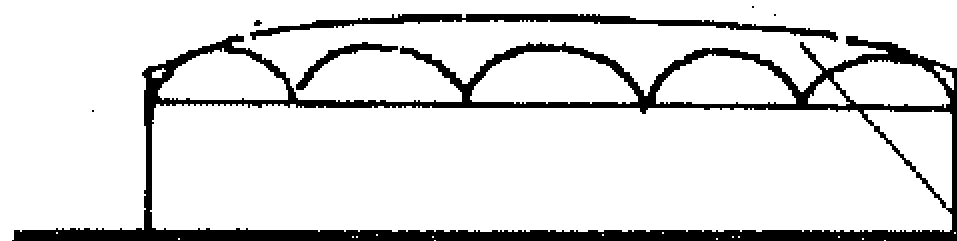
شكل ٣٨٩



شكل ٣٩٢



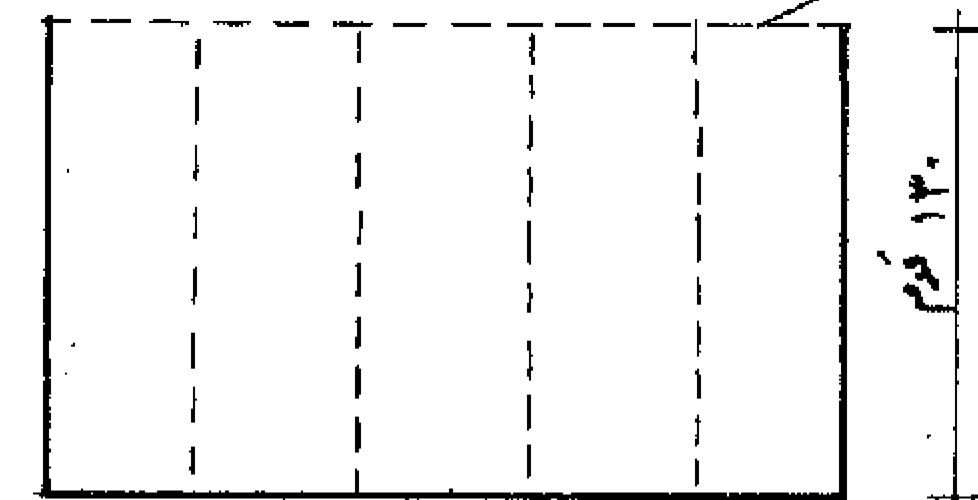


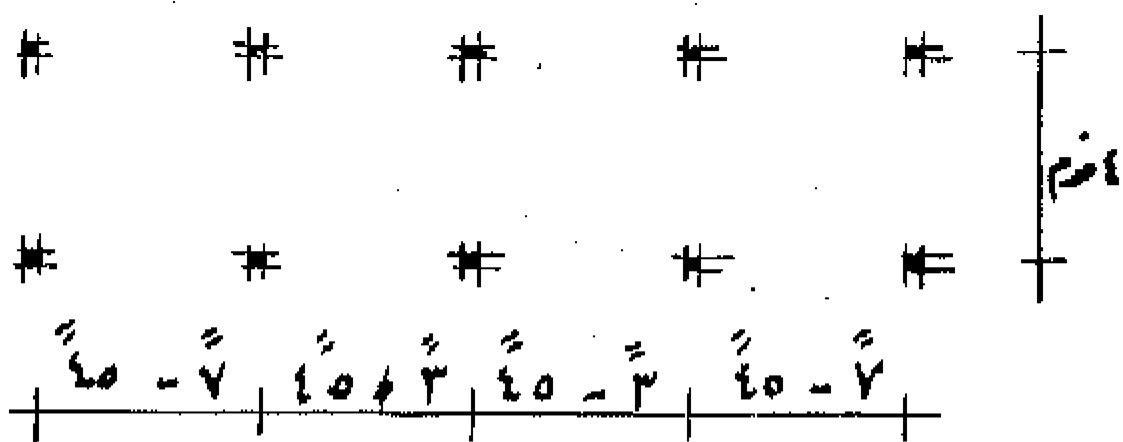


شكل ٣٩٠



شكل ٣٩٣





وحدات مفردة الانحناء — قبوات طويلة

(شكل٣٨٨) قبوات خرسانية لتغطية الفراغات الصناعية .

(شكل ٣٨٩) قبوات طويلة لباكيات صناعية ذات إضاءة علوية .

(شكل ٣٩٠) كمرة طرفية حاملة سابقة الإجهاد لحمل خمس قبوات طويلة فى حظيرة طائرات فى مطار كراتشى بباكستان .

(شكل ٣٩١) هياكل بكوابيل مزدوجة فى مصانع « لبان » كلاركز شيكل فى بوجوتا بكولومبيا .

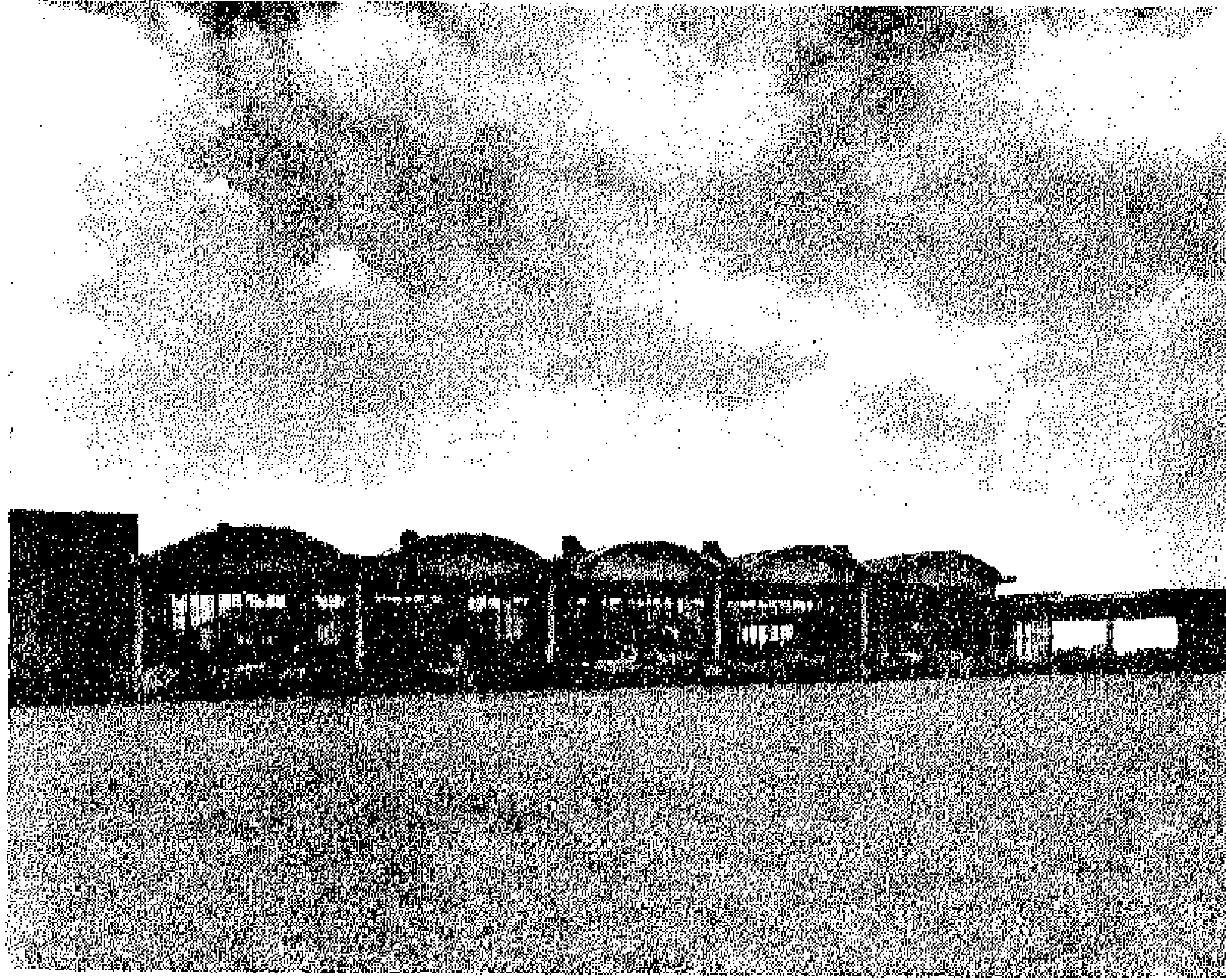
(شكل ٣٩٢) سقف مسنن فى مصانع ريفز وأولاده فى أنتفيلد بلندن .

(شكل ٣٩٣) هياكل طرفية مقوسة فى المخزن العام للجيش الأمريكى بكولومبس بأمريكا .

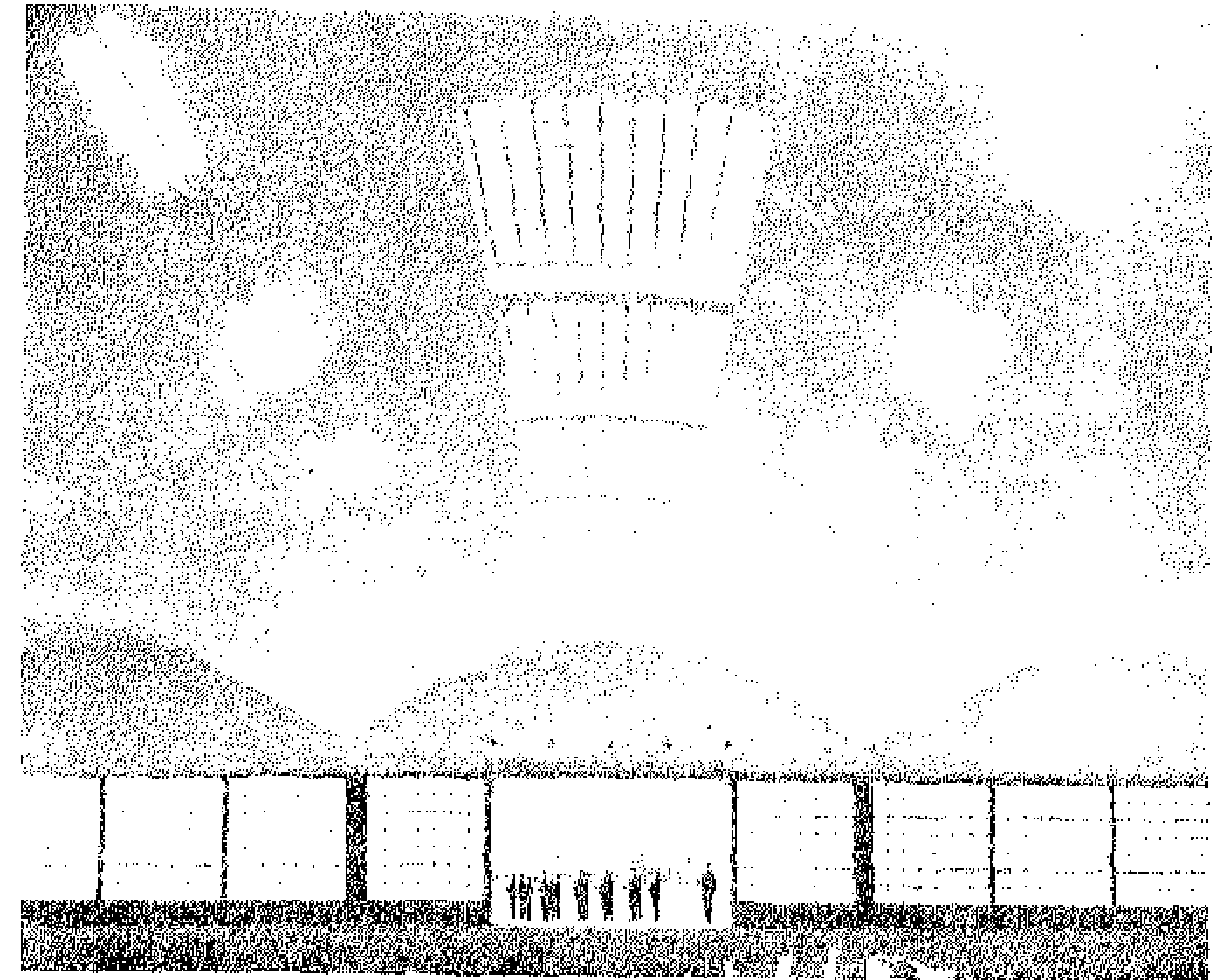
شكل ٣٩٥



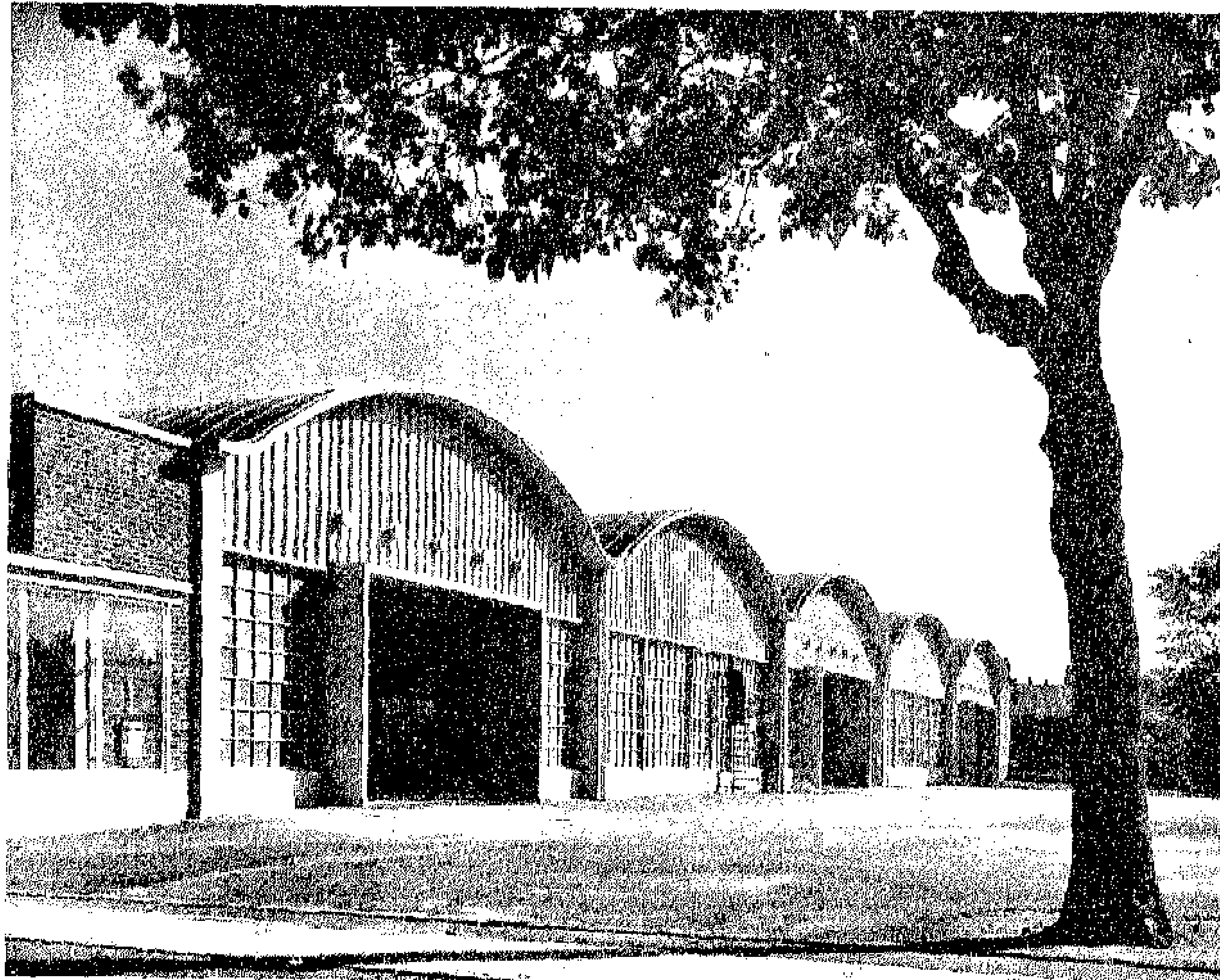
شكل ٣٩٤



شكل ٣٩٧



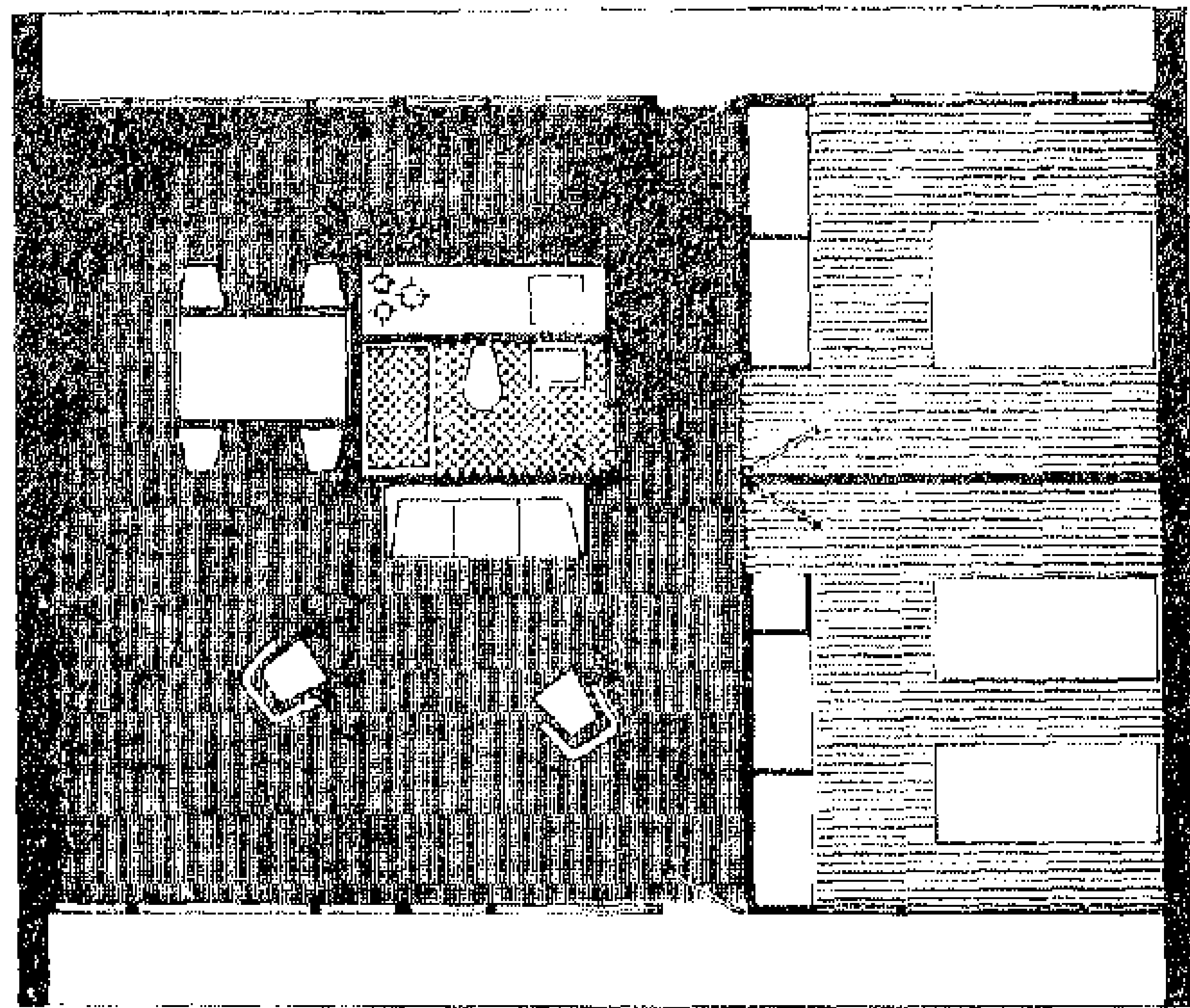
شكل ٣٩٦



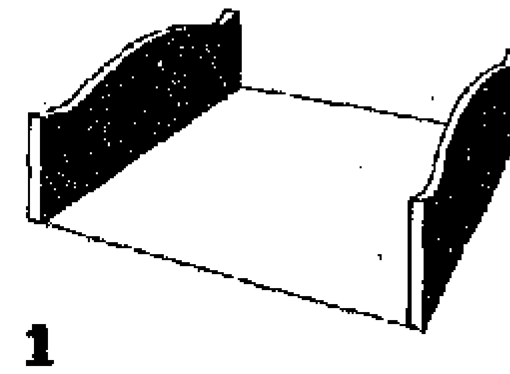
وحدات مفردة الانحناء قبوات طويلة

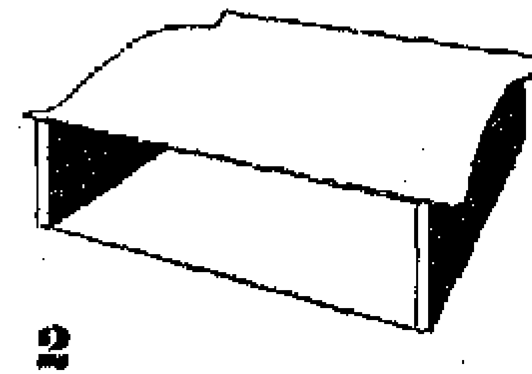
(شكل ٣٩٤) مطعم الموظفين بشركة ماى وبيكر بمدينة داجنهام بمقاطعة اسكس بإنجلترا .
(شكل ٣٩٥) منظر داخلى بالمطعم .
(شكل٣٩٦) صالة تمرينات البحرية الملكية بمدينة ديل بمقاطعة كنت بإنجلترا .
(شكل ٣٩٧) منظر داخلى بالصالة .

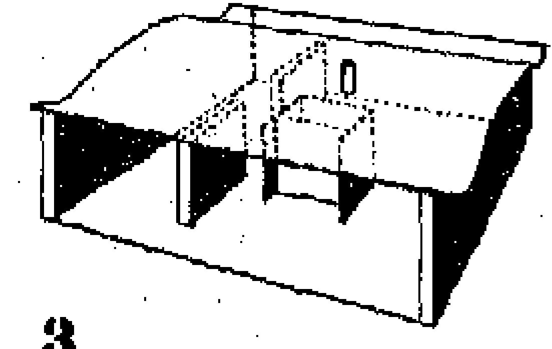
شكل ٣٩٨

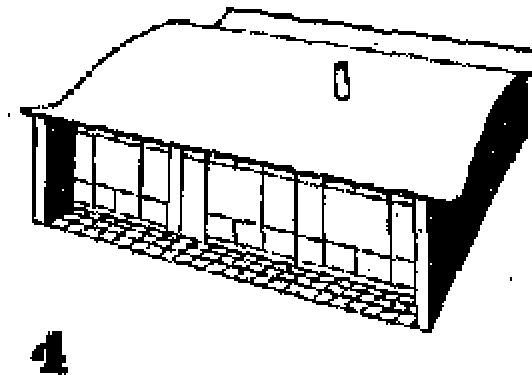


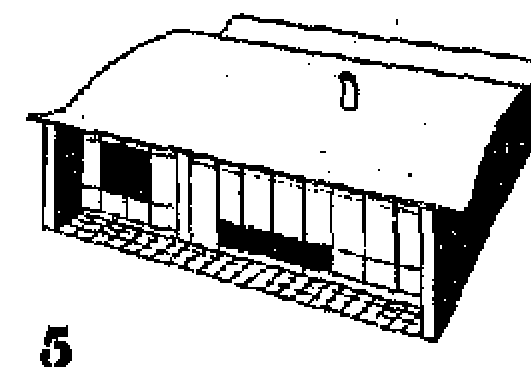
شكل ٣٩٩

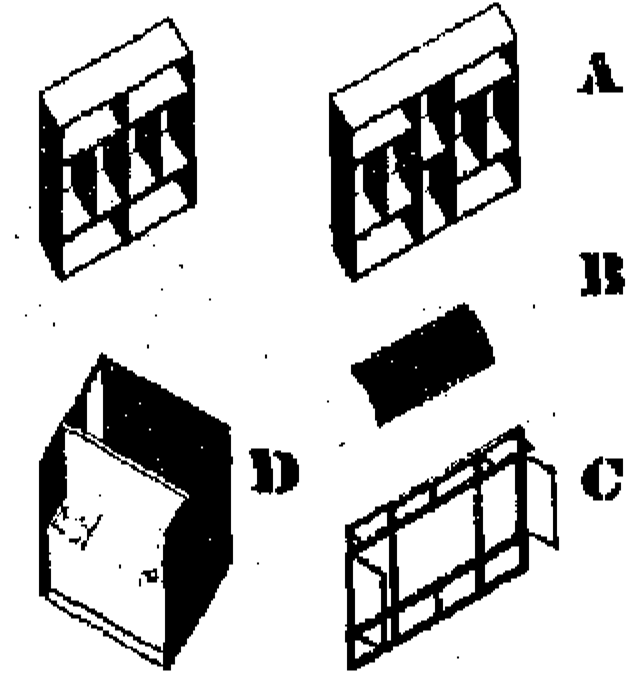




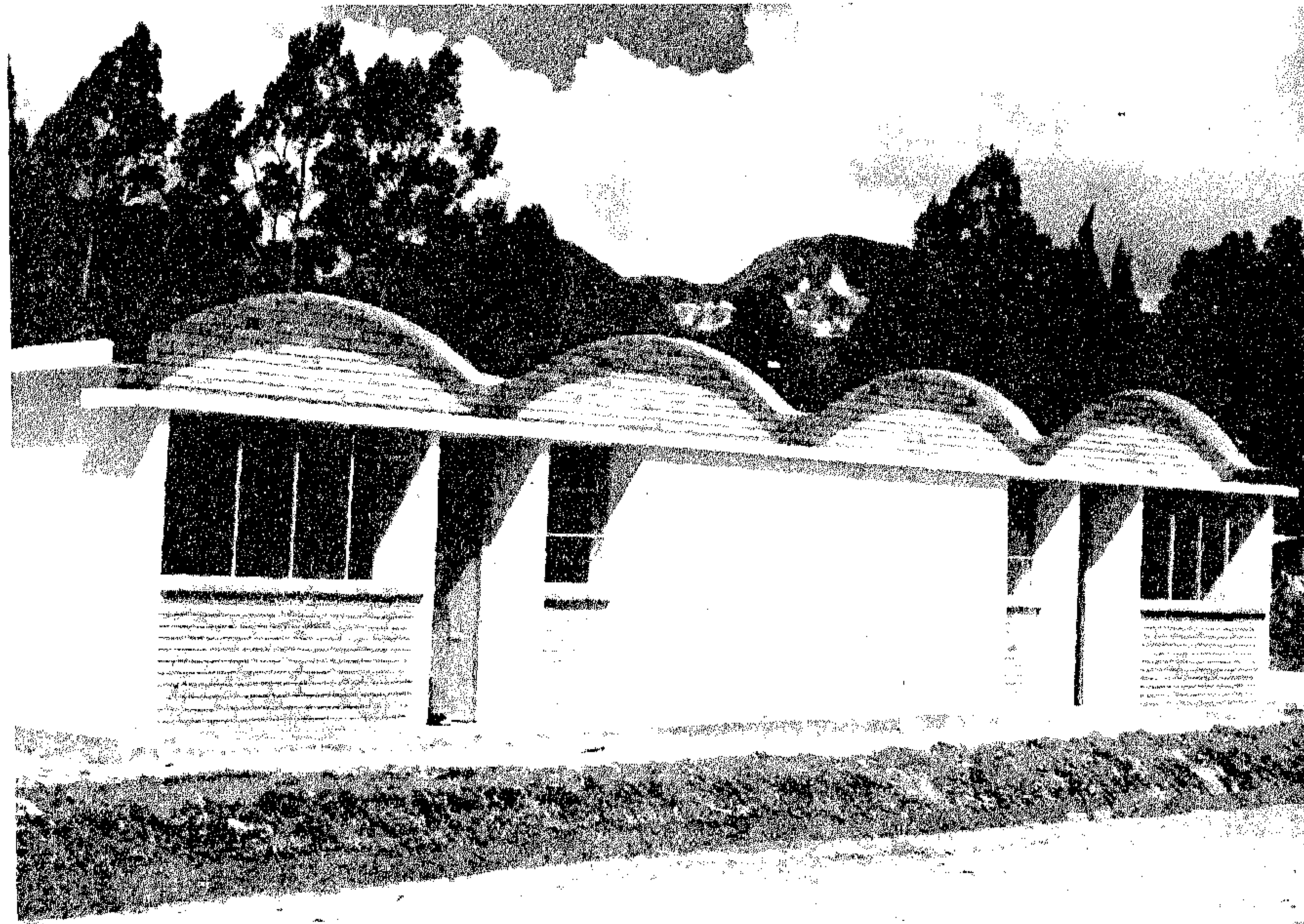






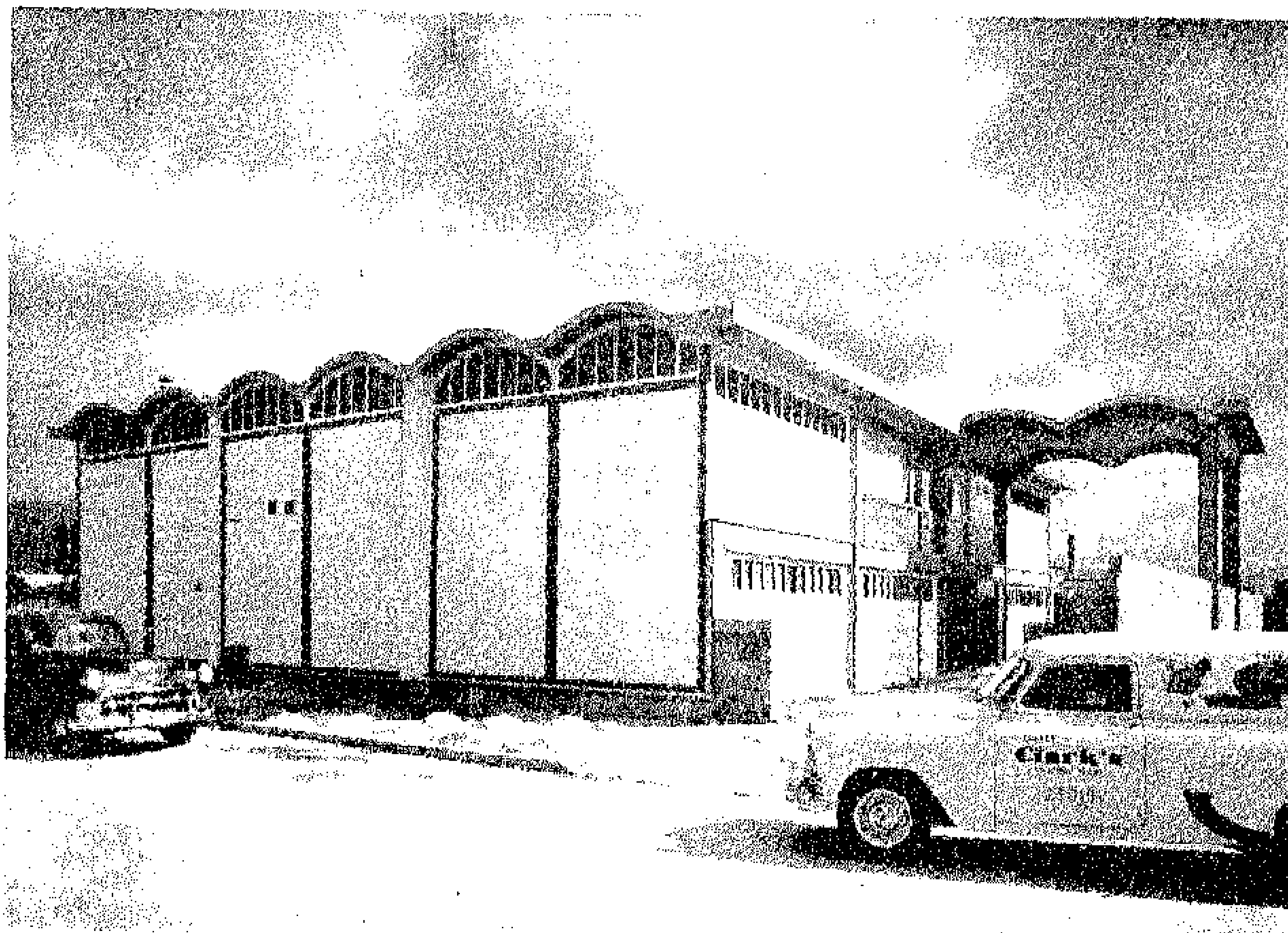


شكل ٤٠٠



وحدات مفردة الانحناء — قبوات طويلة جاهزة

المعماريين سولانو وأورتيجا (شكل ٣٩٨) مسقط لوحة سكنية شعبية جاهزة من حجرتين نوم (شكل ٣٩٩) مراحل إنشائية لمسكن شعبي ١ — حوائط حاملة، ٢ — سقف قشري جاهز. ٣ — وحدة المطبخ. ٤، ٥ النوافذ ٦ — الأجهزة.
(شكل ٤٠٠) وحدة لمسكنين سابقة الصب في مشروع سكني شعبي في بوجوتا بكولومبيا سنة ١٩٥٣.



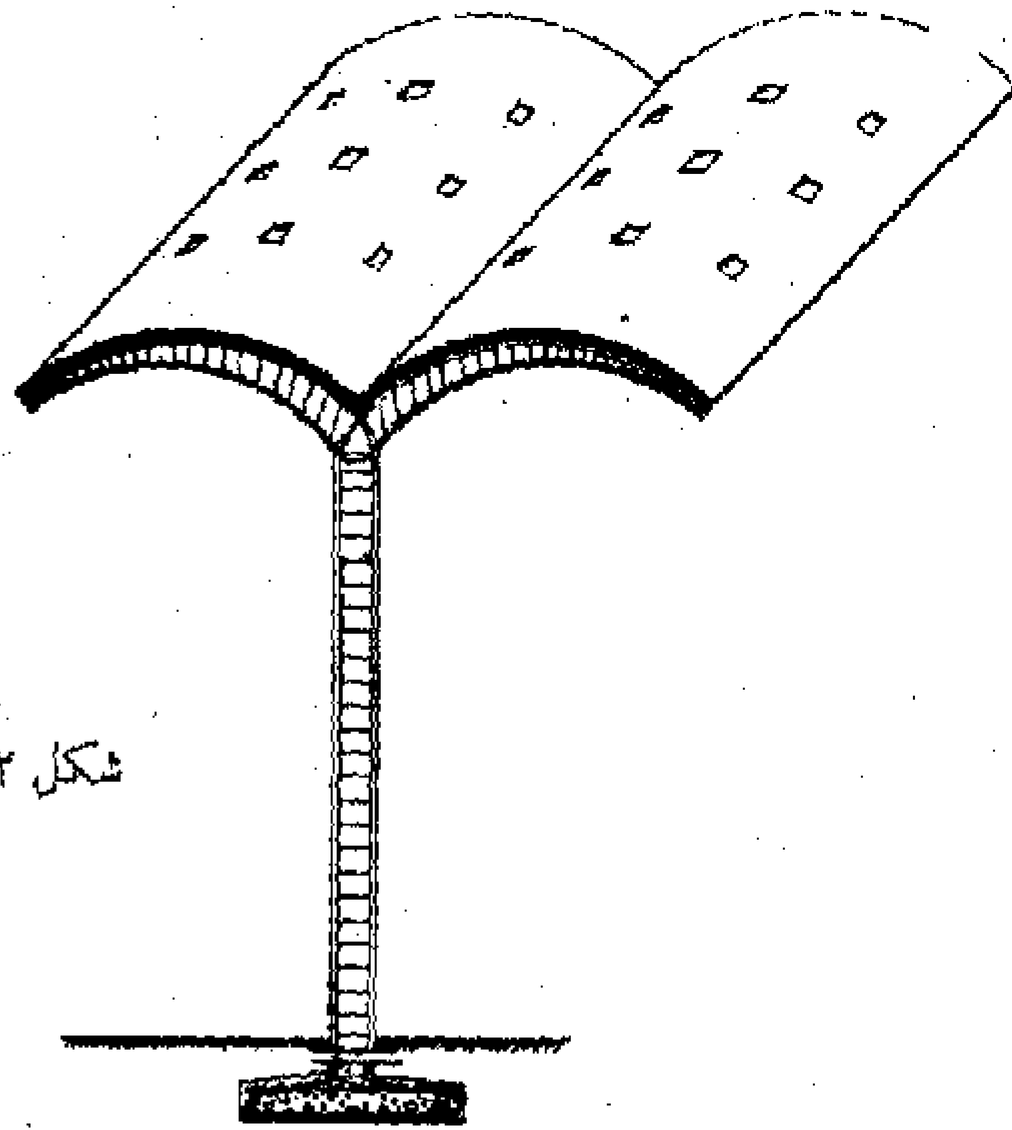
شكل ٤٠١

وحدات مفردة الانحناء — قبوات طويلة جاهزة

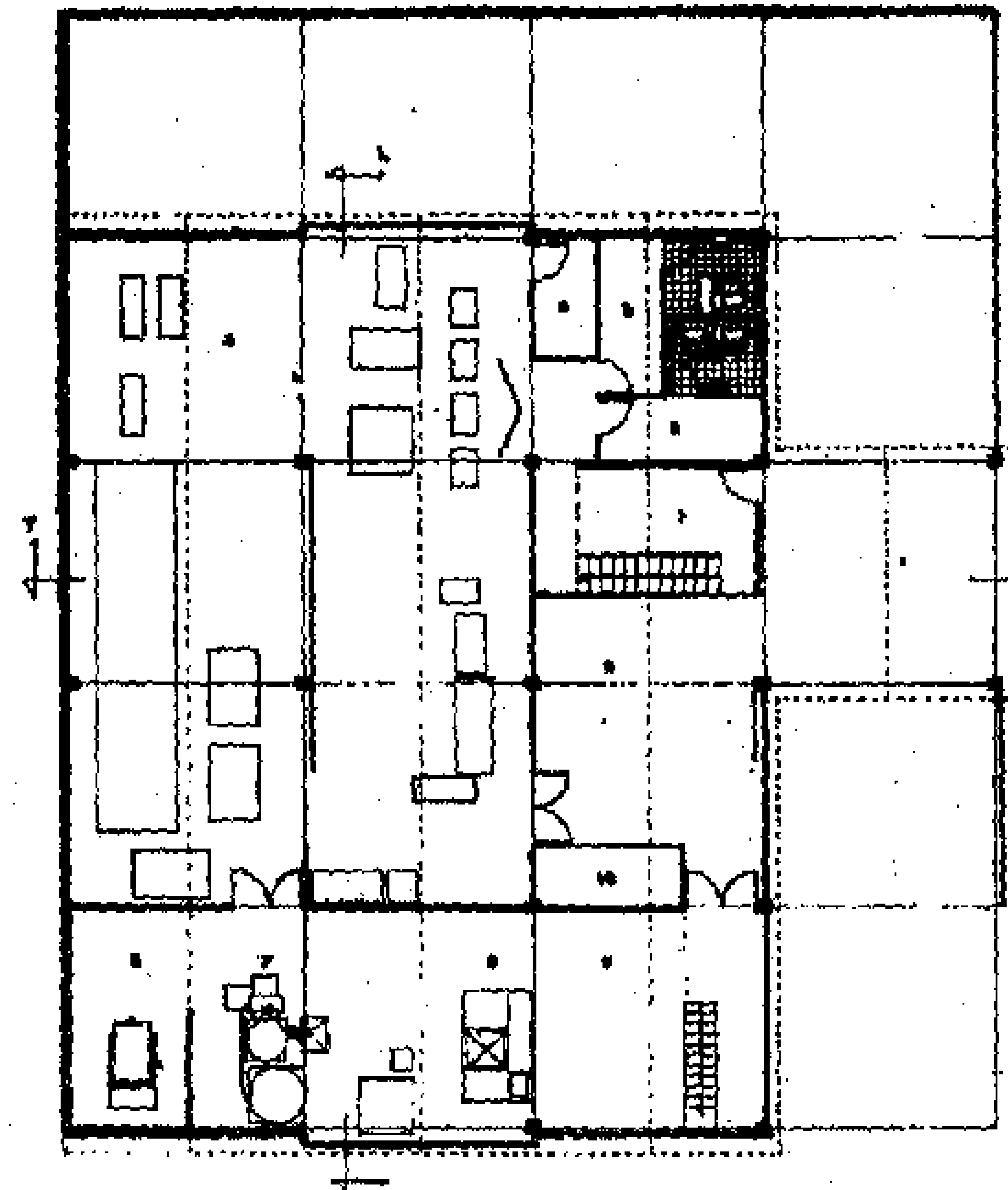
مصنع « لبان » كلارك فى بوجوتا بكولومبيا — المعمارى بيزانو .

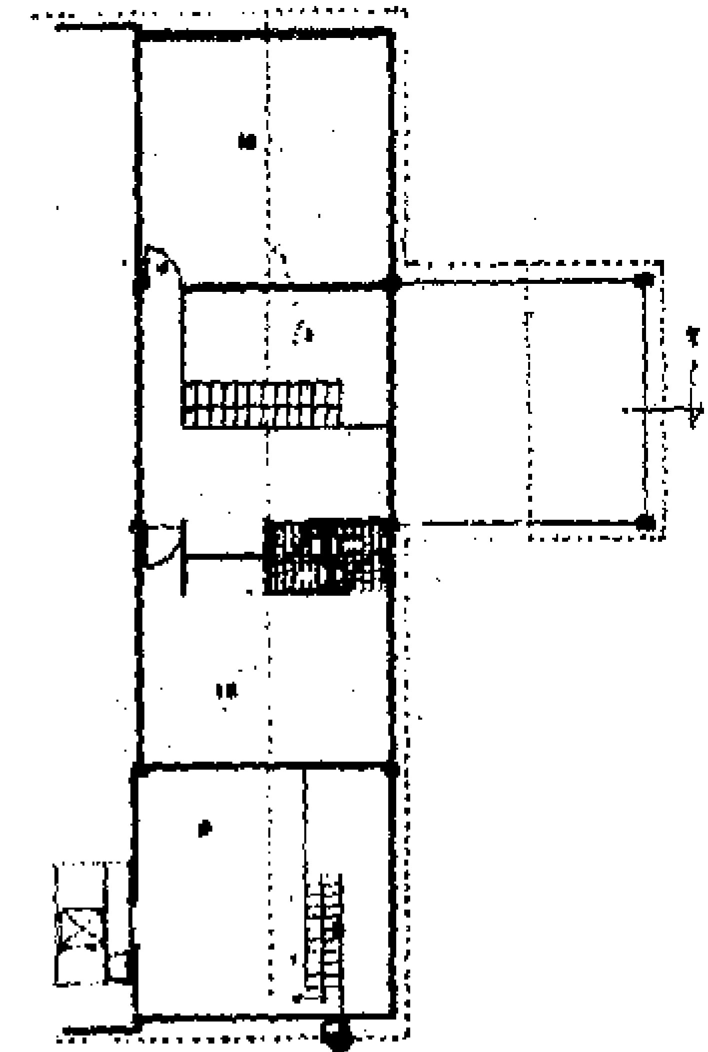
(شكل ٤٠١) منظر خارجى للمصنع .
(شكل ٤٠٢) وحدة للهياكل والأقبية .
(شكل ٤٠٣) مسقط أفقى للدور الأرضى والمسروق .
(شكل ٤٠٤) قطاع .

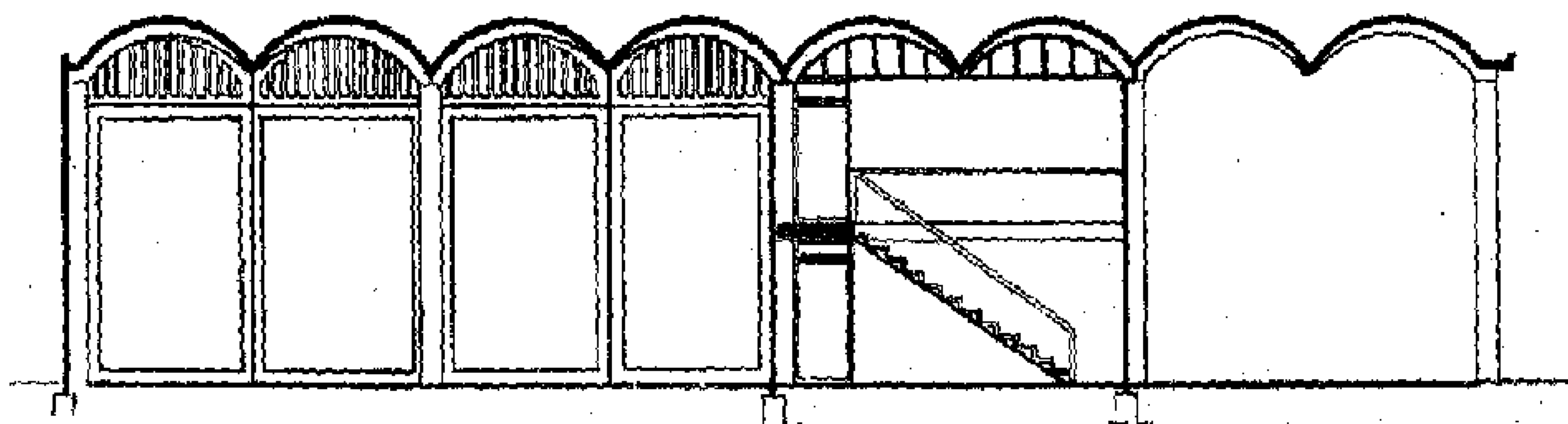
شكل ٤٠٣



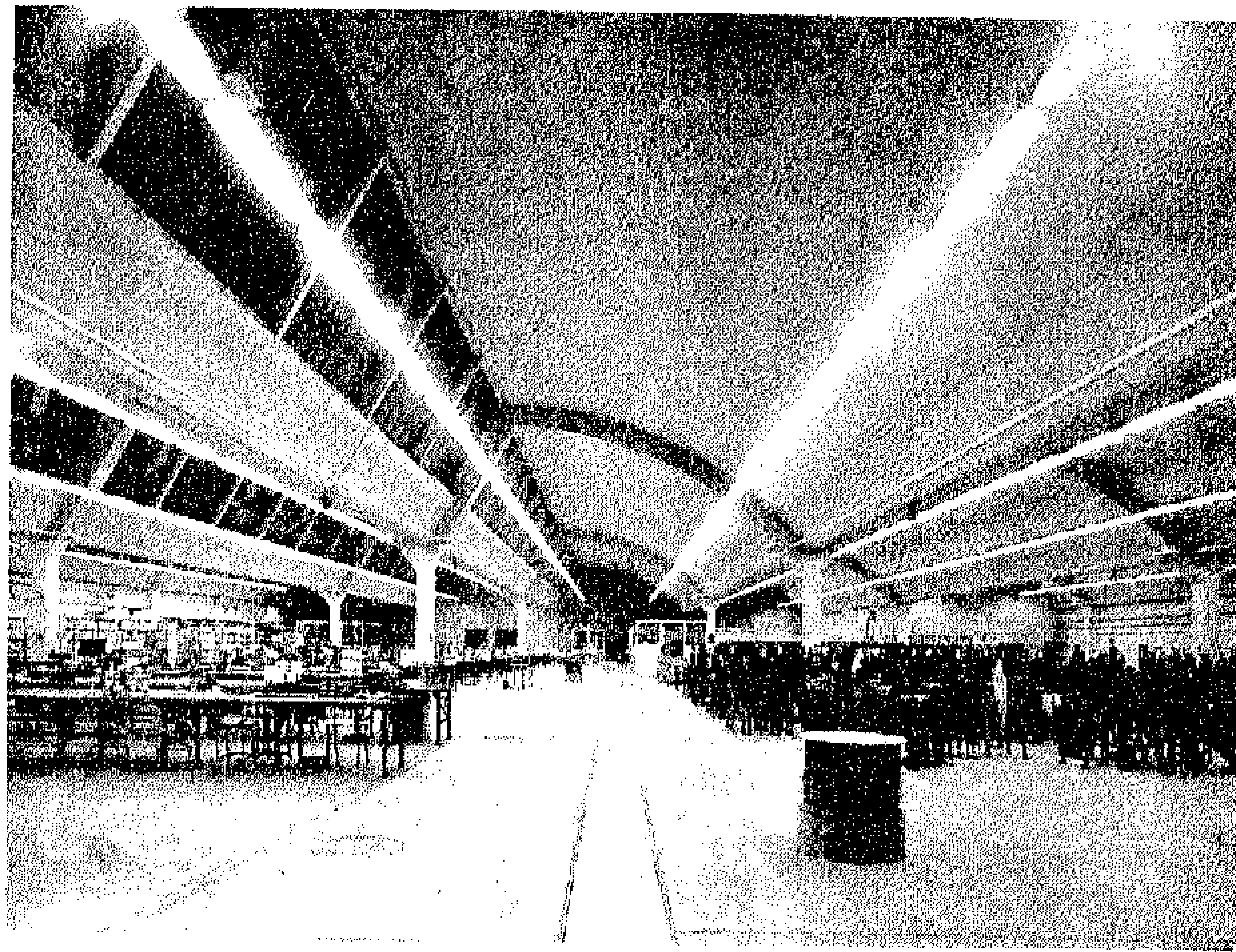
شكل ٤٠٢







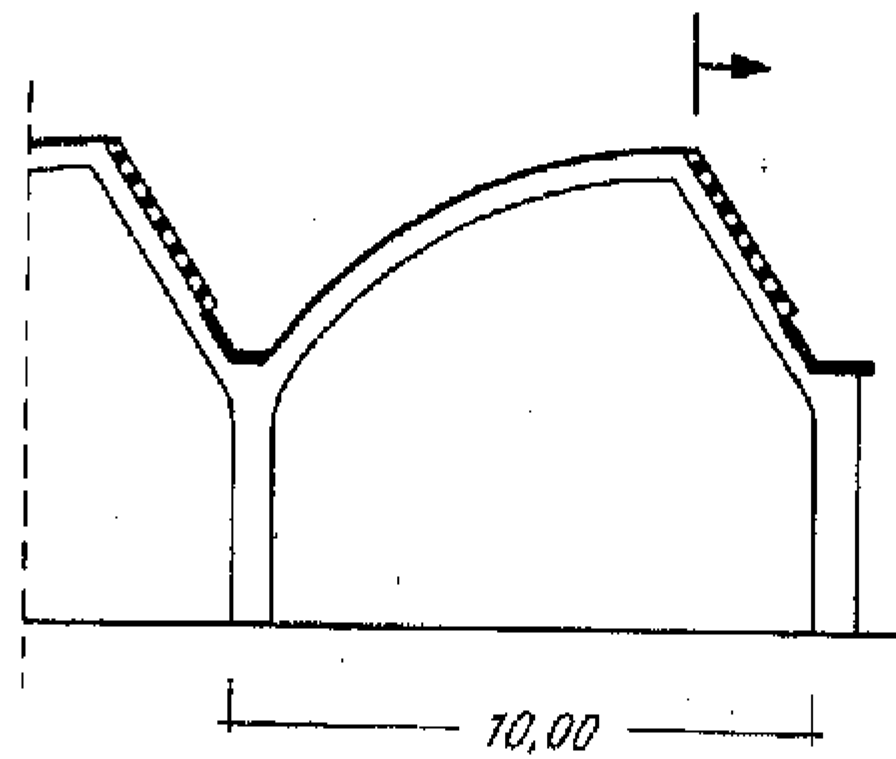
شكل ٤٠٤

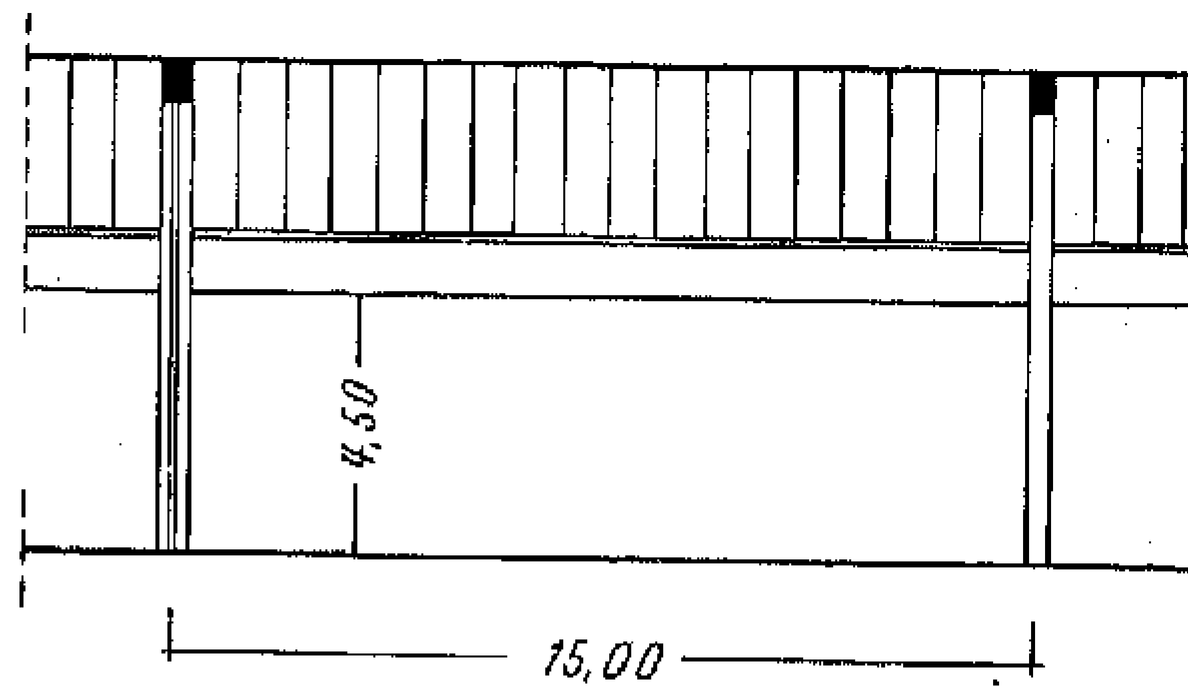


شكل ٤٠٥

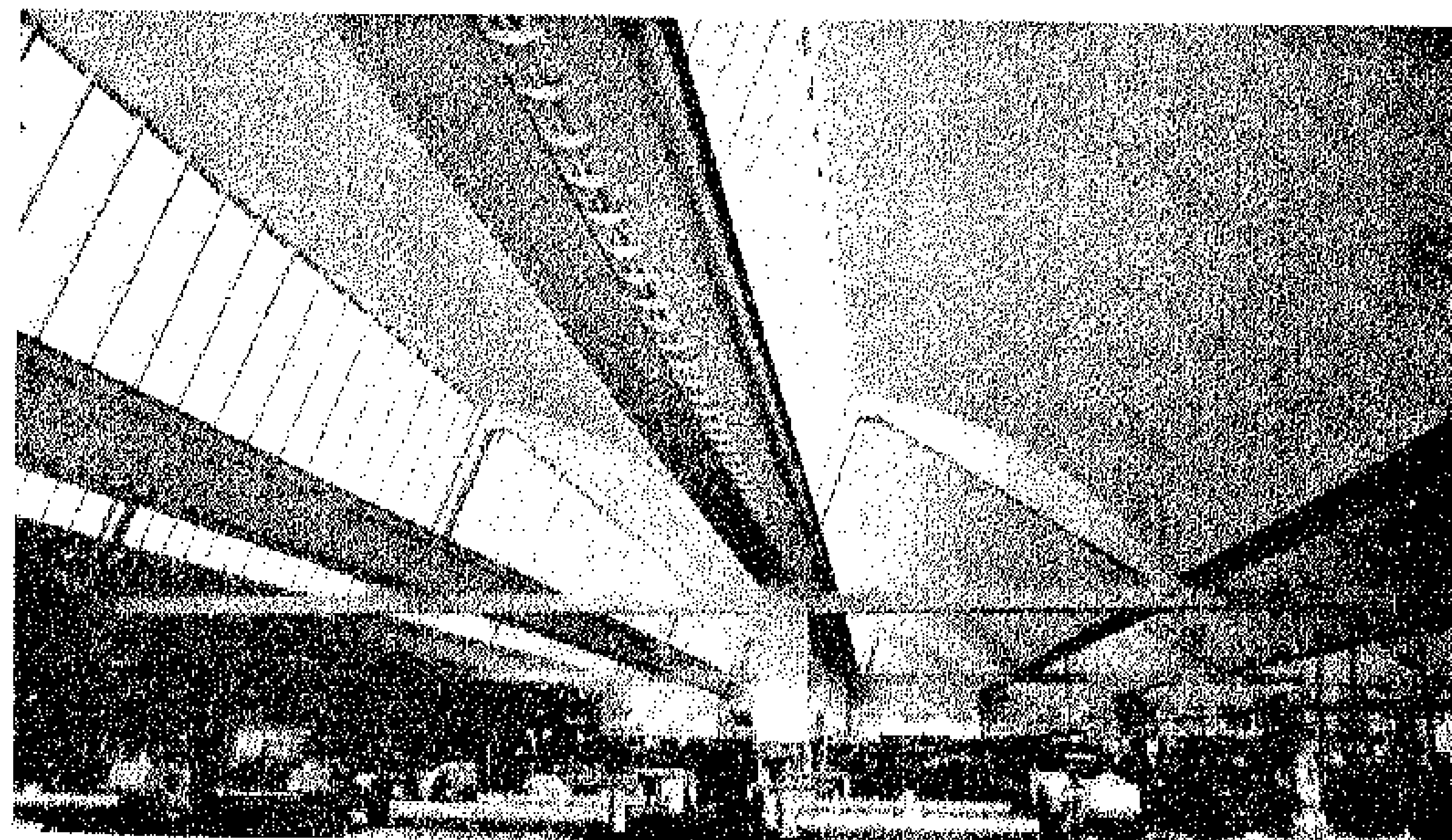
قبوات الإضاءة العلوية البحرية

(شكل ٤٠٥) صالة I.C.I. فى وانارلويد بمقاطعة سوانسى بإنجلترا .
(شكل ٤٠٦) قطاع طولى وعرضى فى صالة الإنتاج بمصنع وستلاند للمطاط فى لنداو .
(شكل ٤٠٧) صالة الإنتاج بمصنع ويبروأوت فى مدينة فورشهايم (المهندس ف فرايتاج) .
(شكل ٤٠٨) قطاع طولى وعرضى .

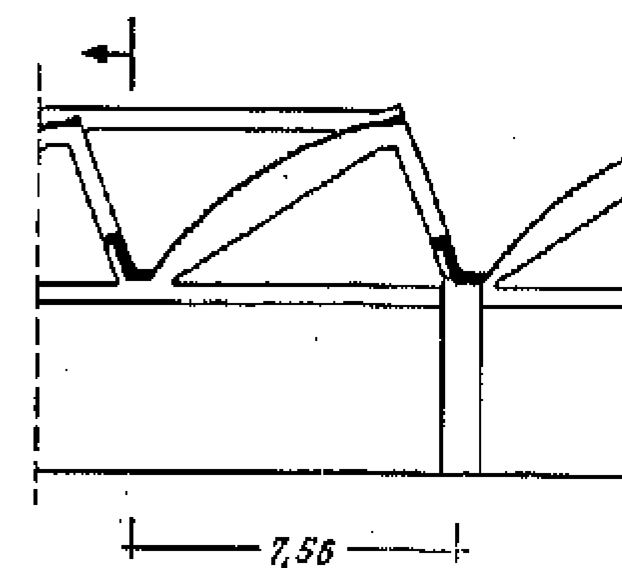


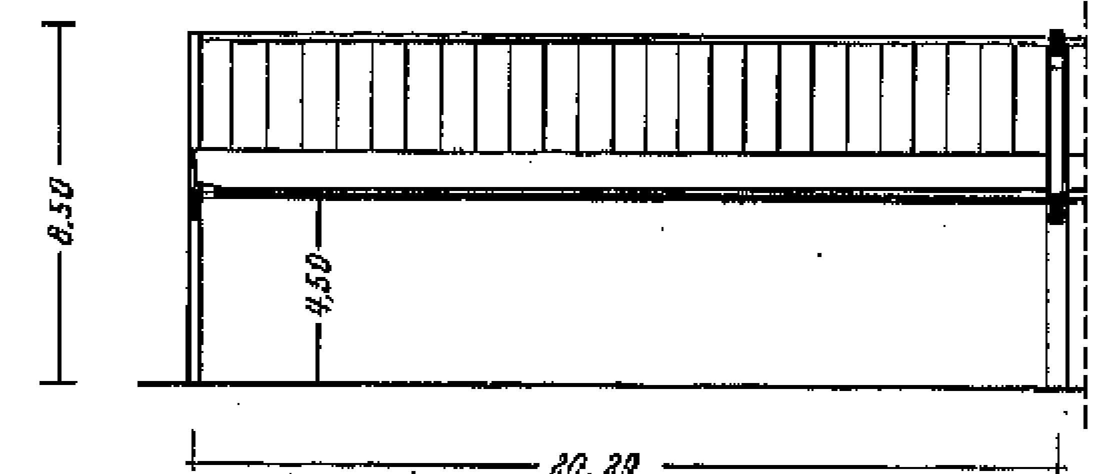


شكل ٤٠٦

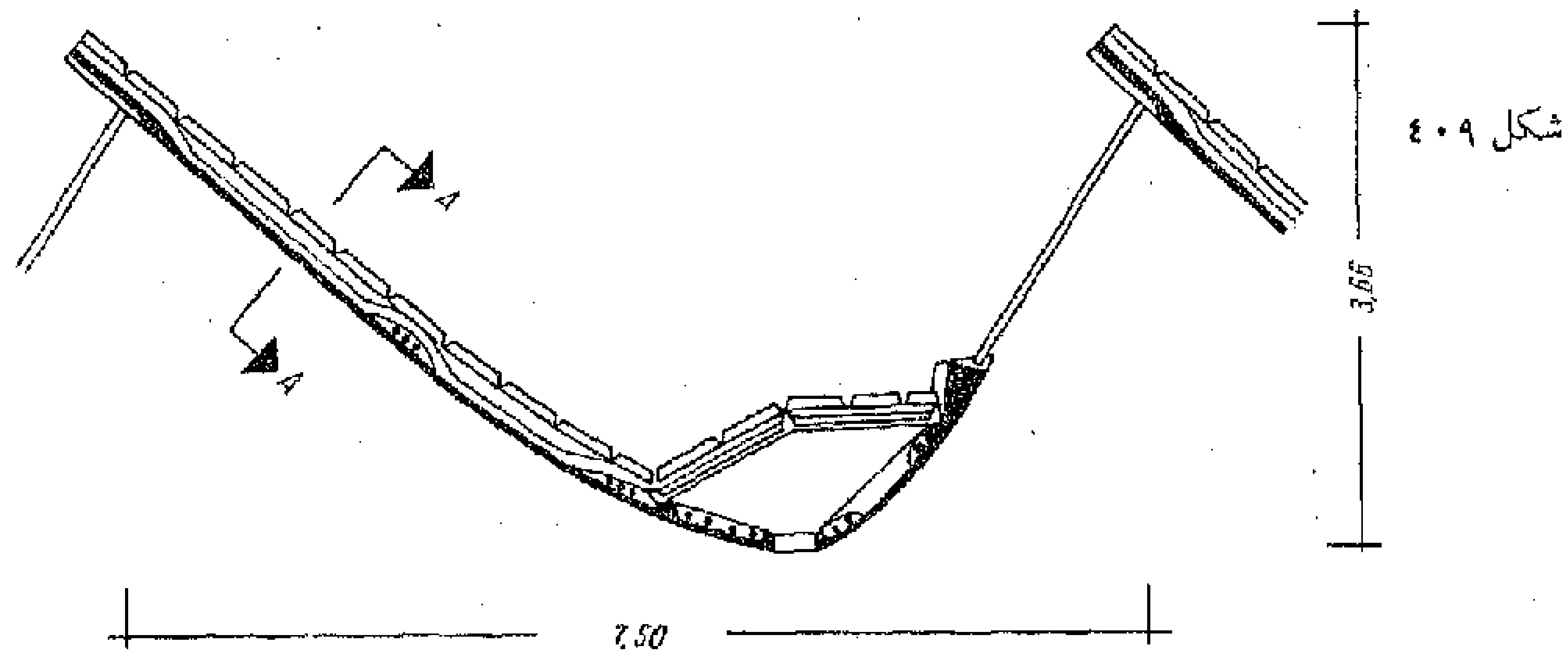


شكل ٤٠٧





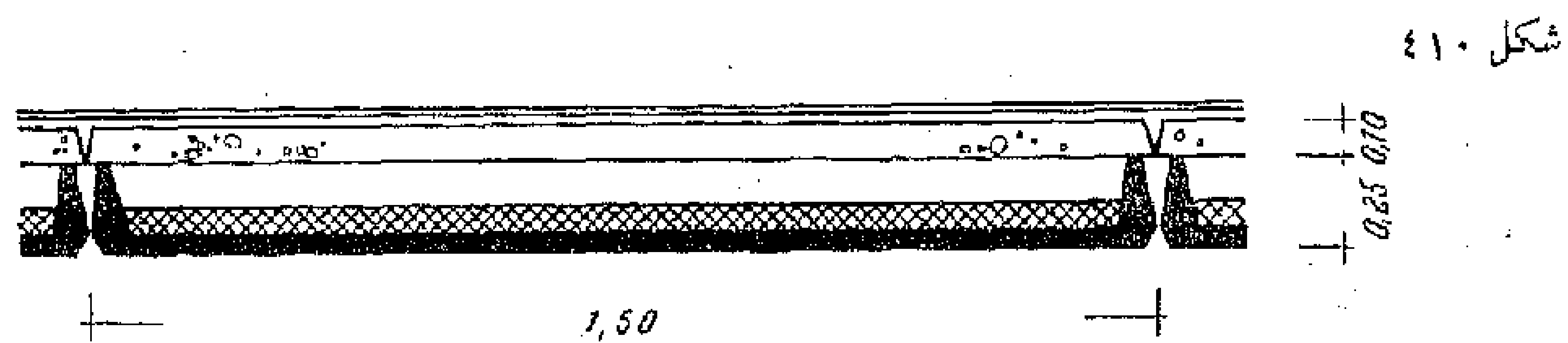
شكل ٤٠٨



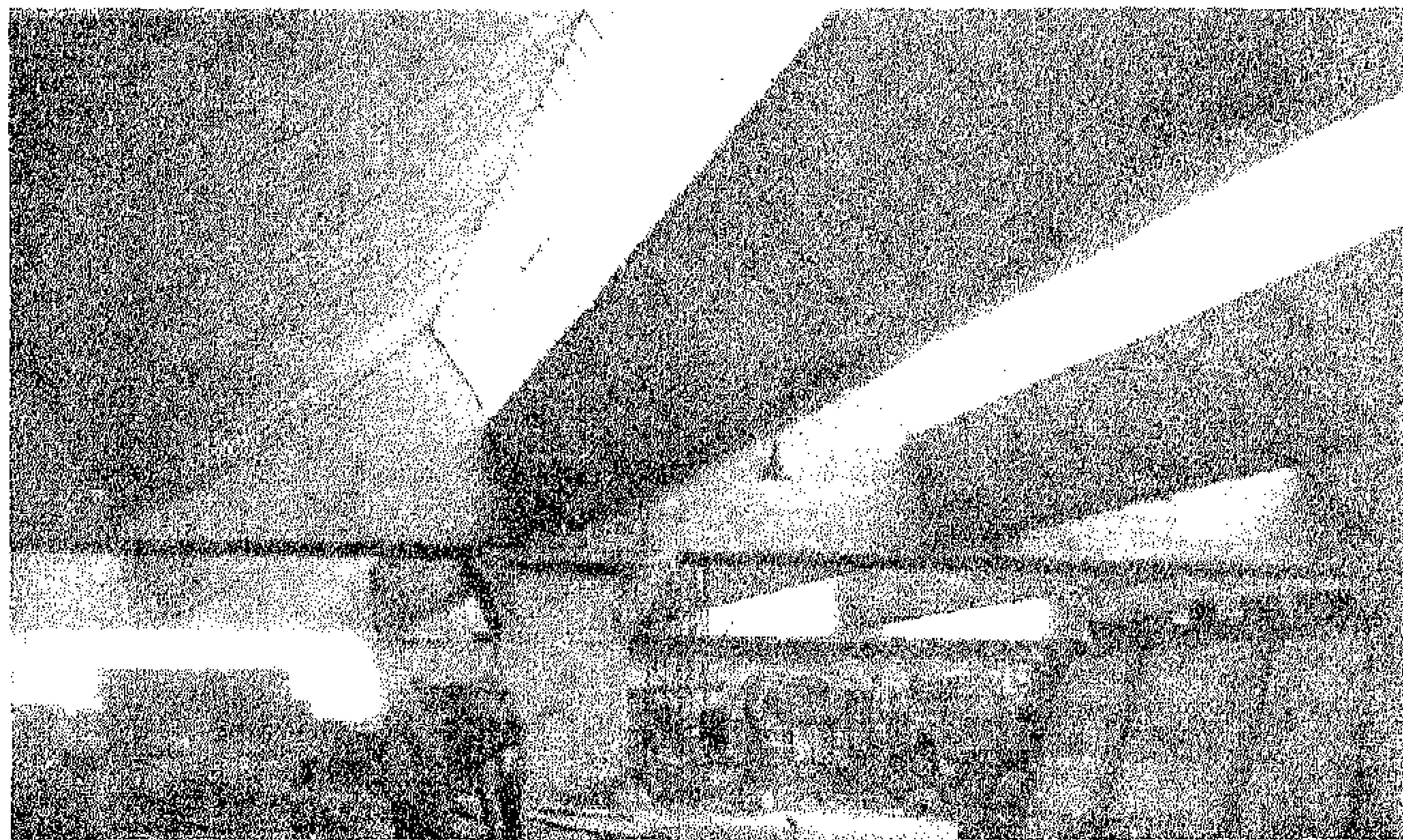
شكل ٤٠٩



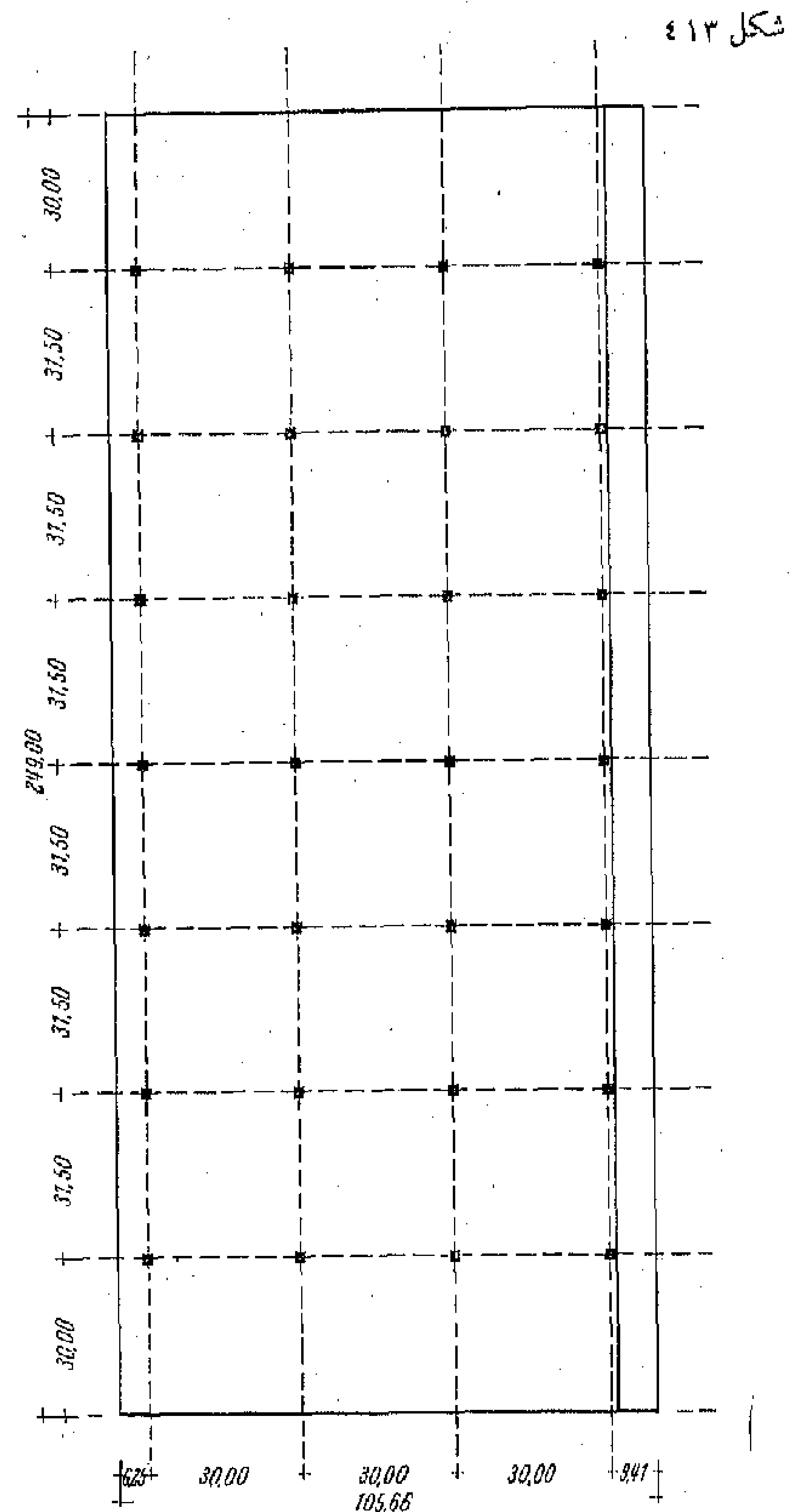
شكل ٤١١



شكل ٤١٠



شكل ٤١٢



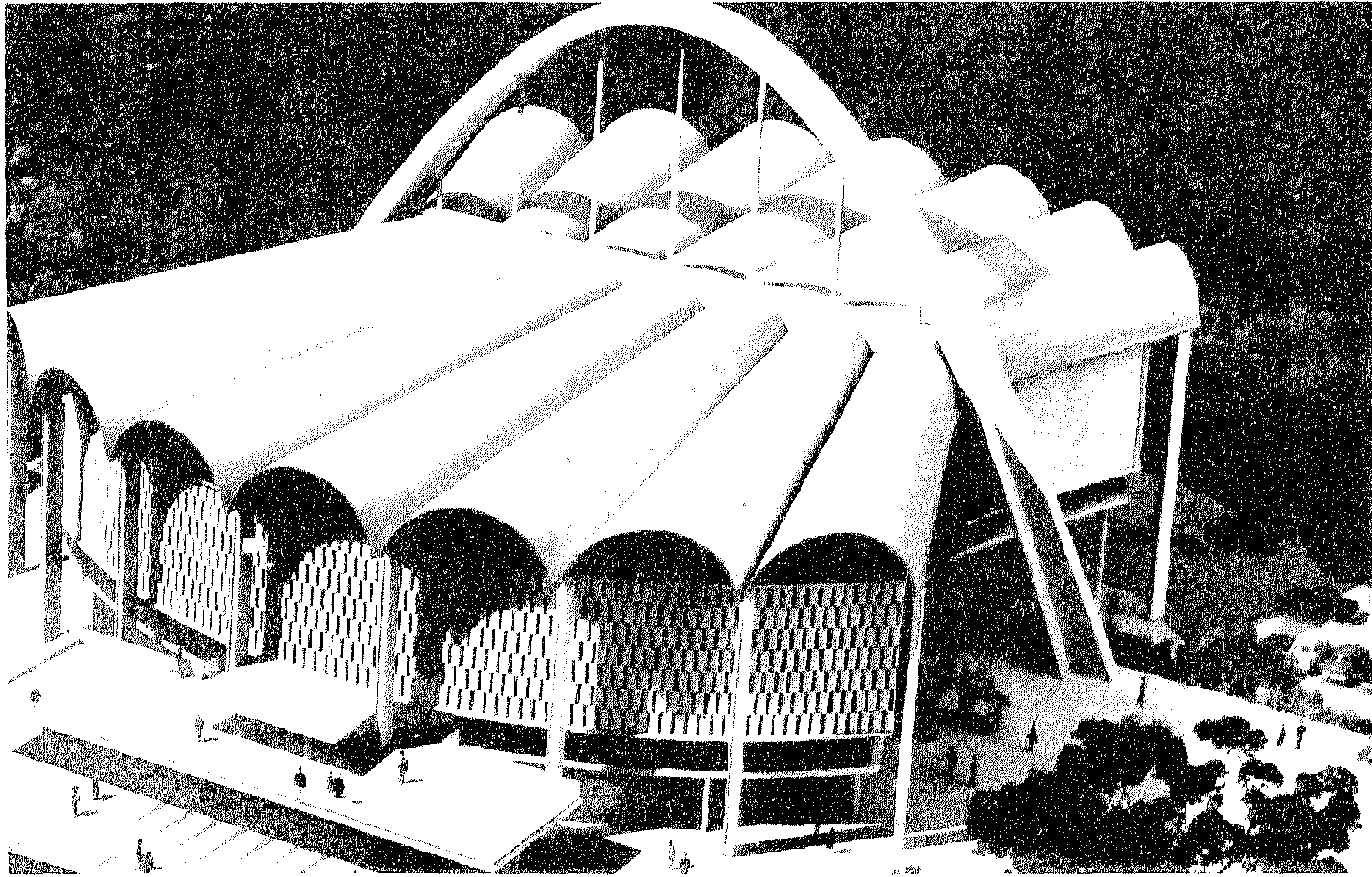
شكل ٤١٣

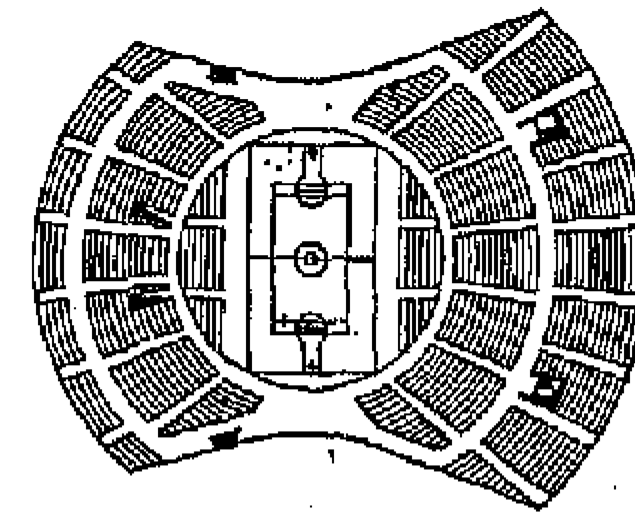
قبوات مقعرة للإضاءة العلوية البحرية

مصنع نسيج فى مدينة كاليش ببولندا ١٩٥٨

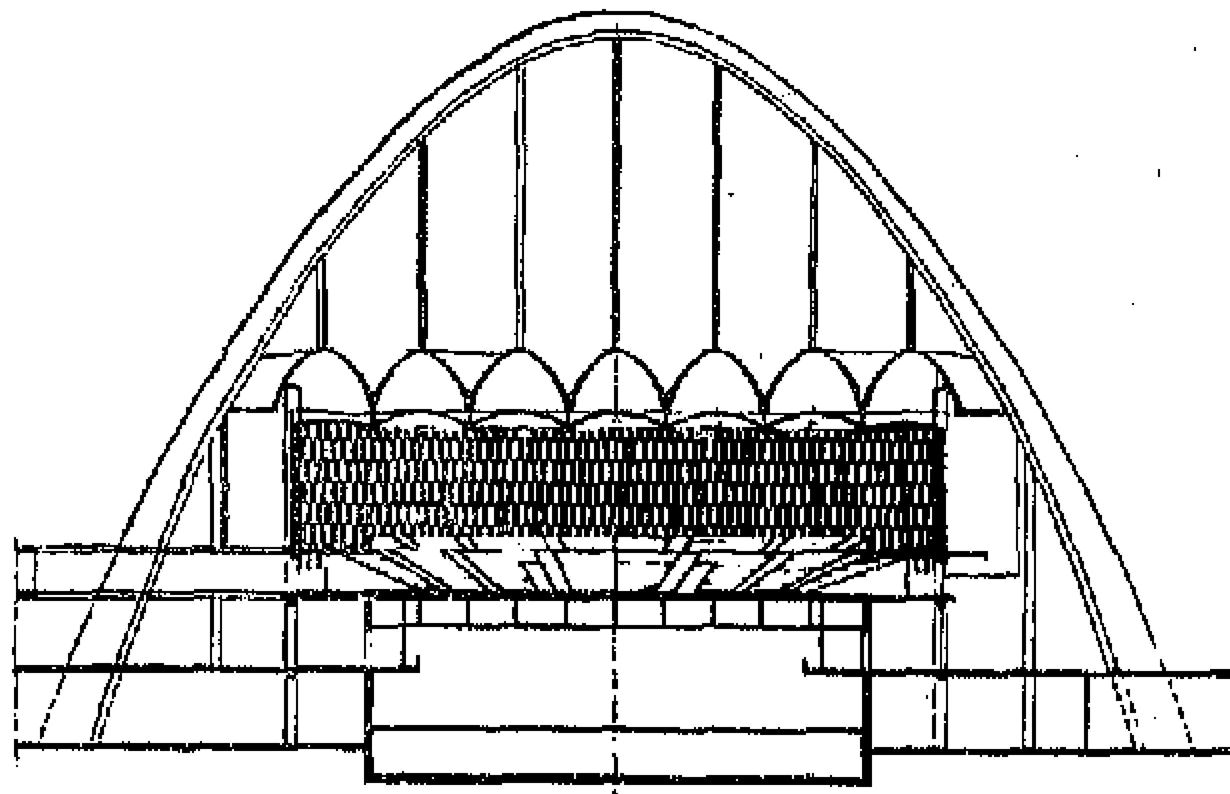
(شكل ٤٠٩) قطاع عرضى تفصيلى فى القبو وفى الفتحة الزجاجية .
(شكل ٤١٠) قطاع طولى تفصيلى فى الوحدات الجاهزة المكونة للقبو .
(شكل ٤١١) مقارنة بين القبو المحدب التقليدى والقبو المقعر المستعمل .
(شكل ٤١٢) منظور داخلى بالمصنع .
(شكل ٤١٣) مسقط أفقى للمصنع .

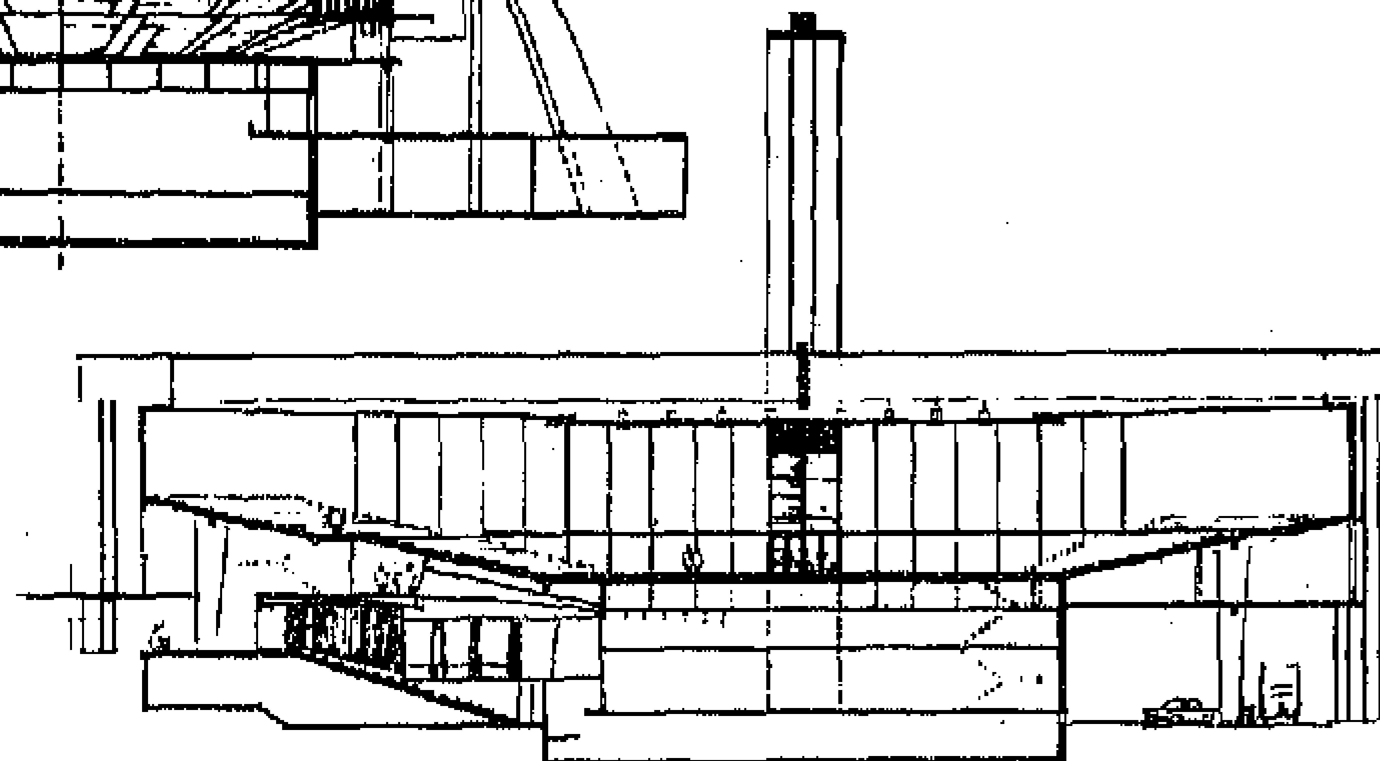
شكل ٤١٤





شكل ٤١٥





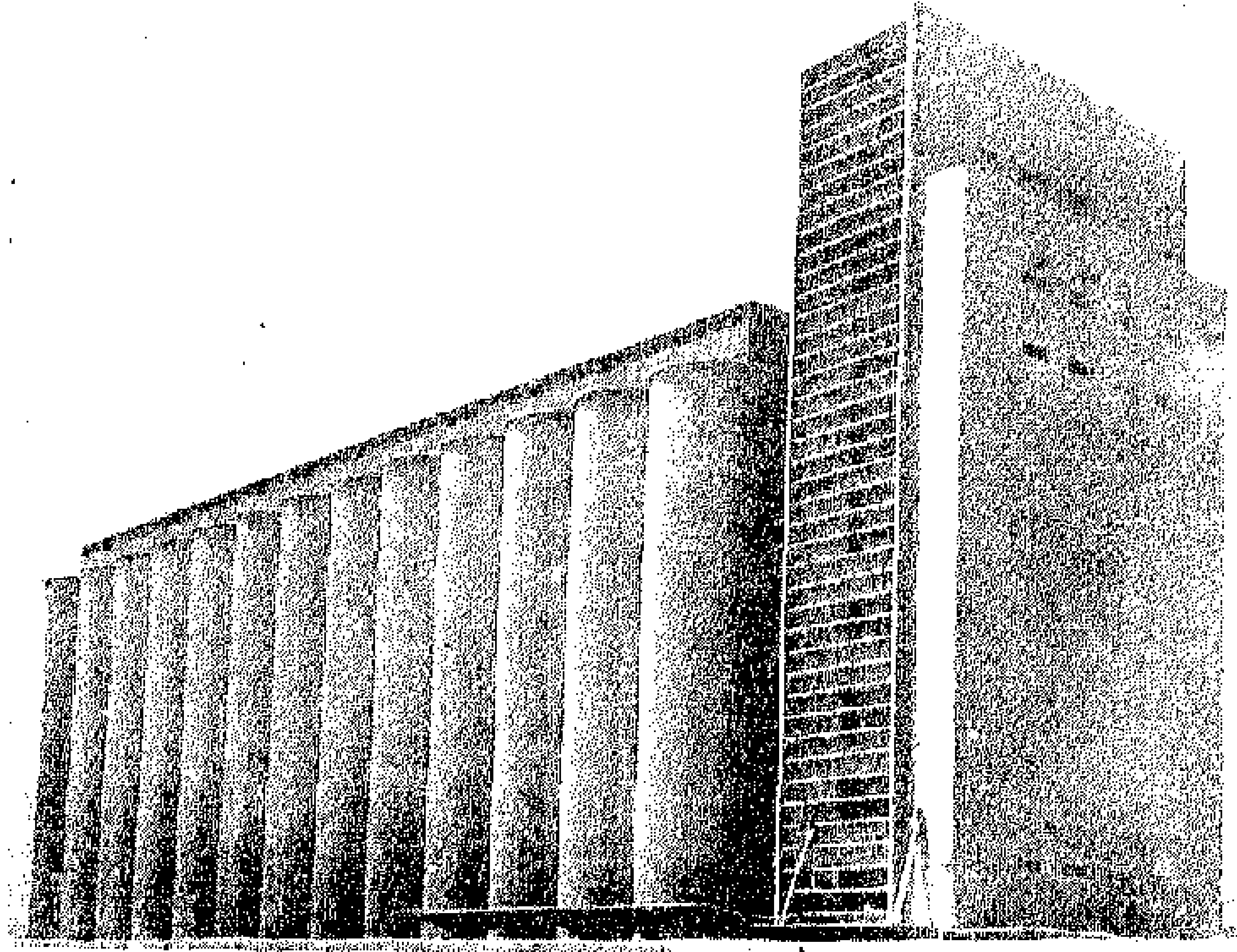
قبوات طويلة مخروطية

مشروع لمسرح متعدد الاستعمالات لمدينة تالاهاسى بولاية فلوريدا (المعماريين المتعاونين والإنشائيين ويدلنجر و سالڤادورى) .

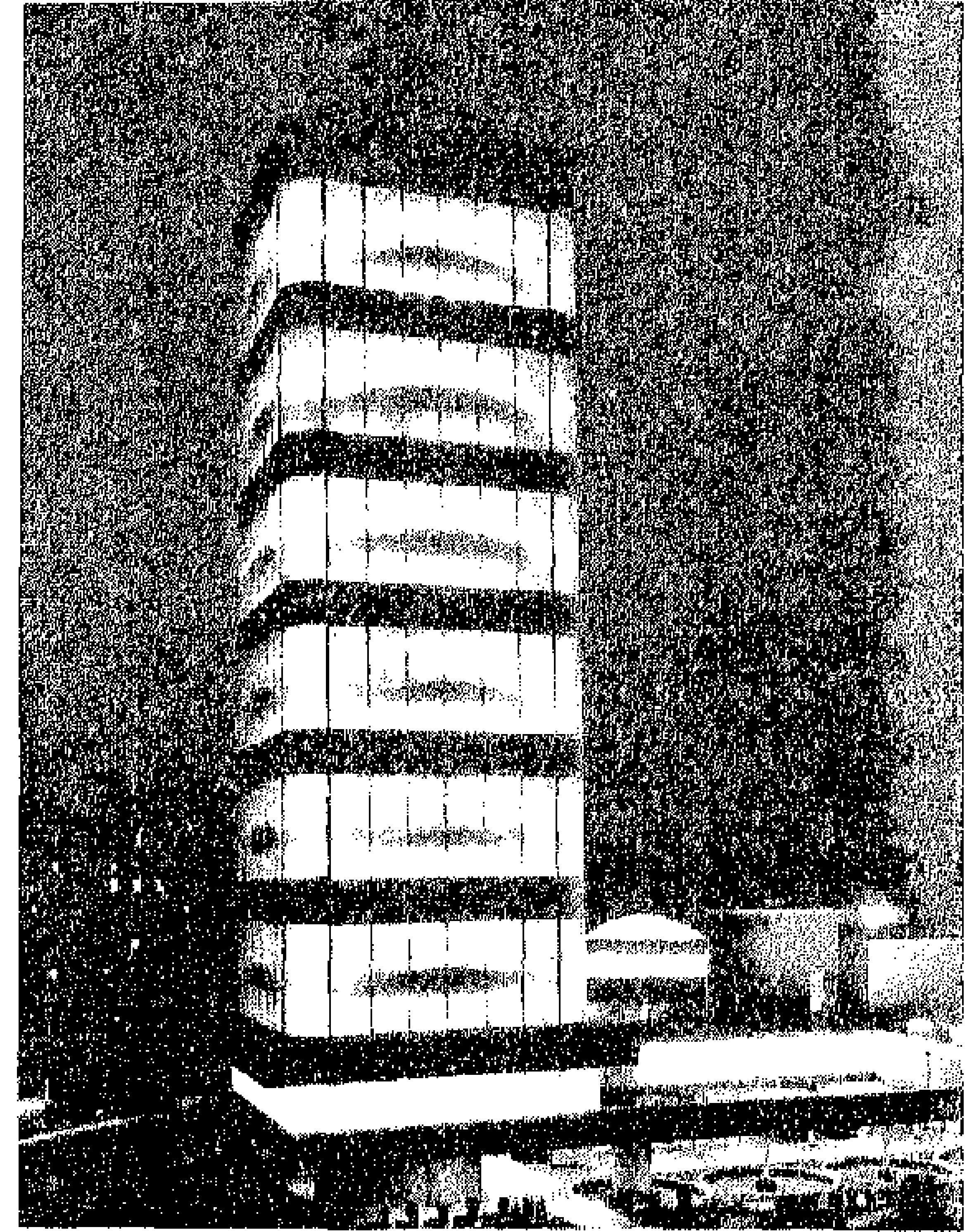
(شكل ٤١٤) منظور عام للمسرح .

(شكل ٤١٥) قطاعات طولية عرضية — ومسقط لتنظيم المقاعد أثناء مباريات التنس وكرة السلة .

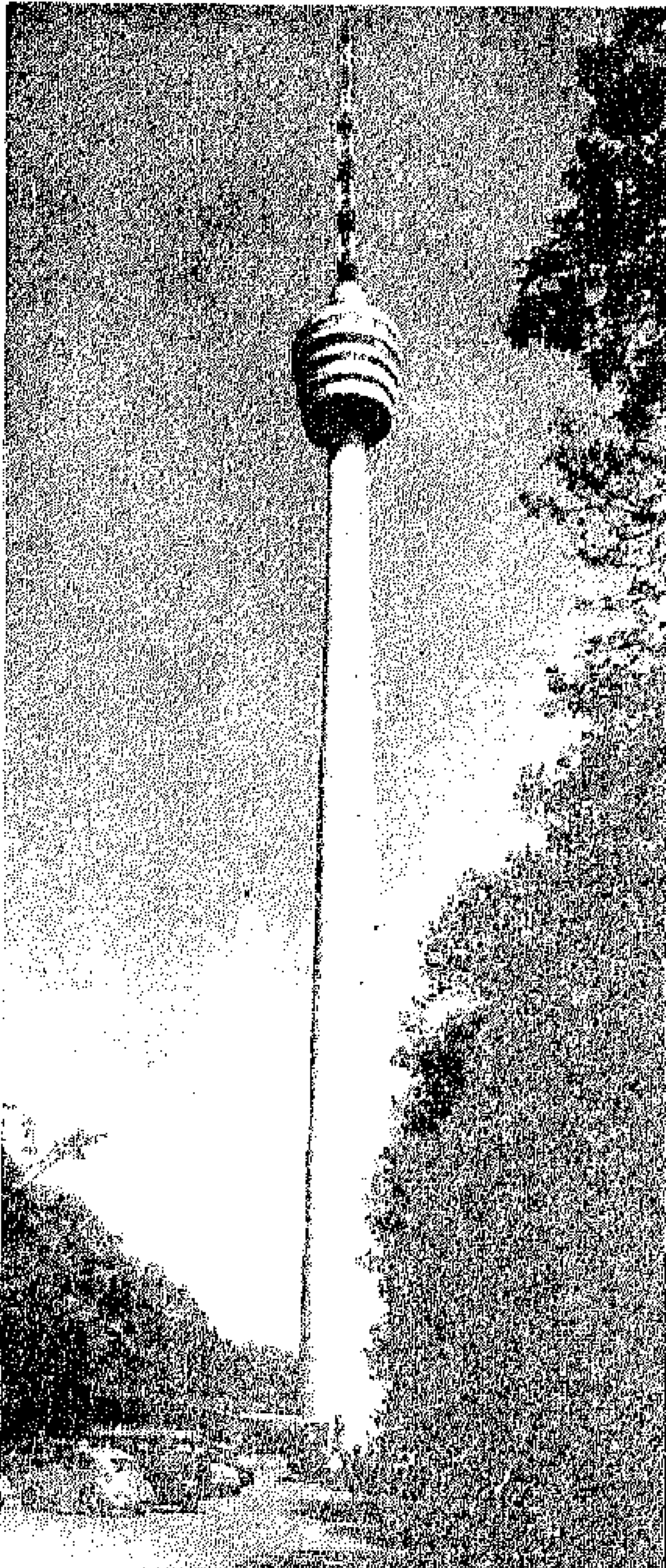
شكل ٤١٦

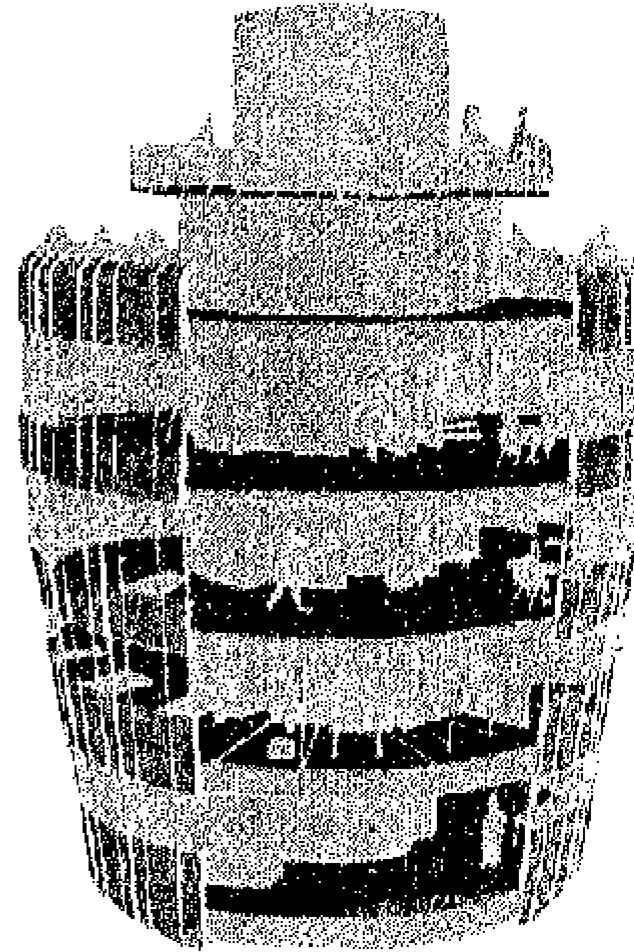


٤

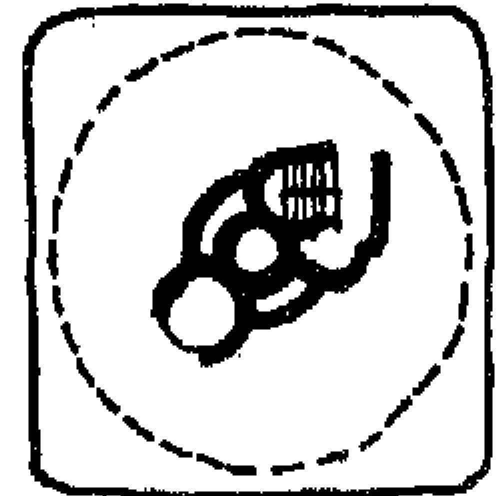


شكل ٤١٩





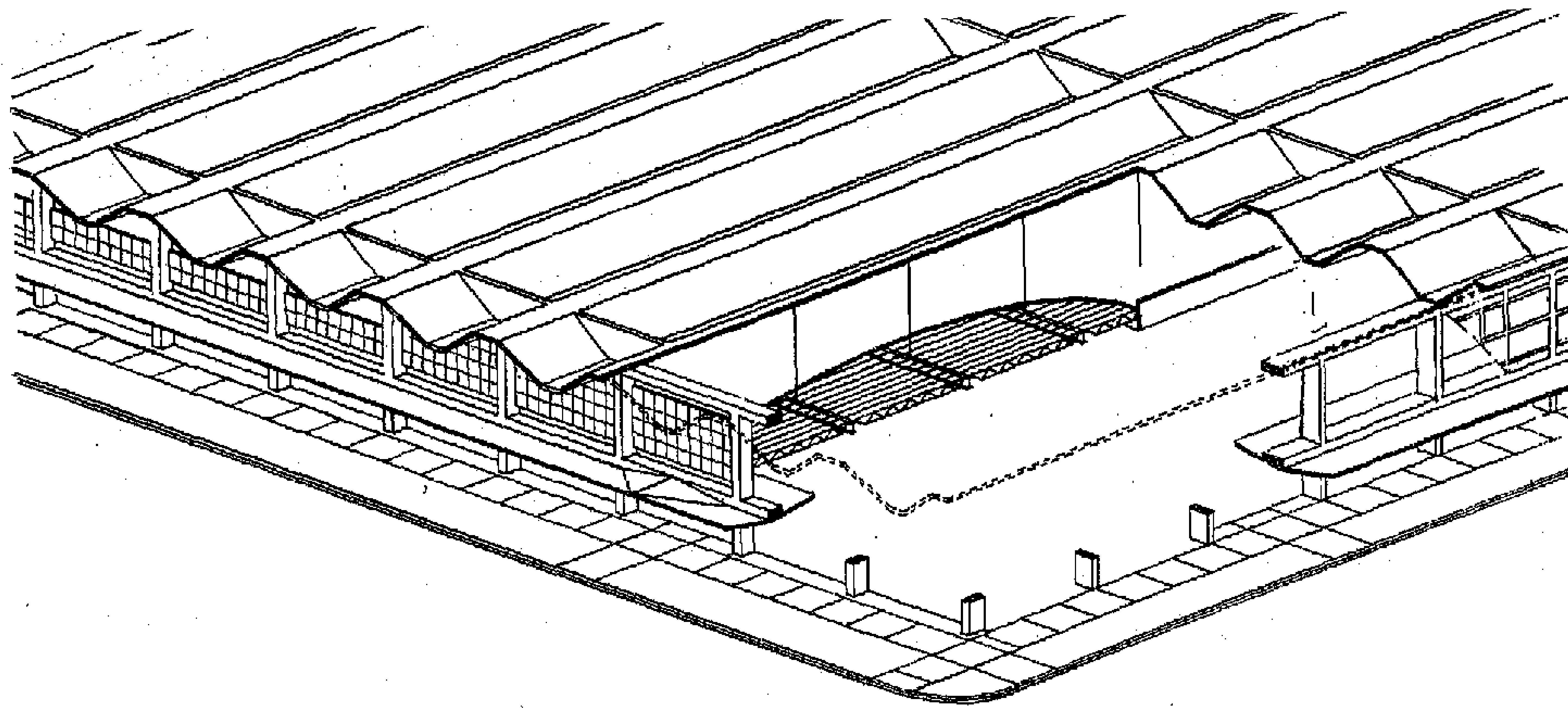
شكل ٤١٨



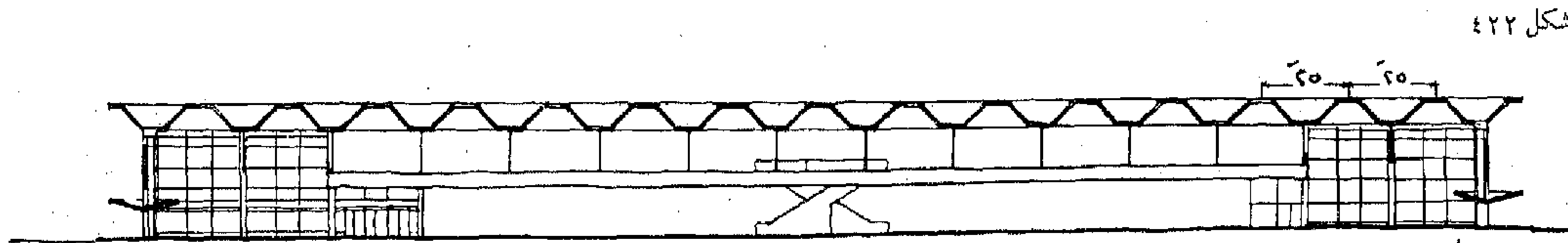
٥ وحدات رأسية مفردة الانحناء

(شكل ٤١٦) صوامع الغلال الأسطوانية فى الإسكندرية .
(شكل ٤١٧) برج المعامل فى مركز شركة جونسون واكس
فى مدينة راسين بولاية وسكنسن .
(شكل ٤١٨) مسقط أفقى للبرج .
(شكل ٤١٩) برج تليفزيون ستتجارت .
(شكل ٤٢٠) منظور لأدوار المطاعم والخدمة بنهاية البرج .

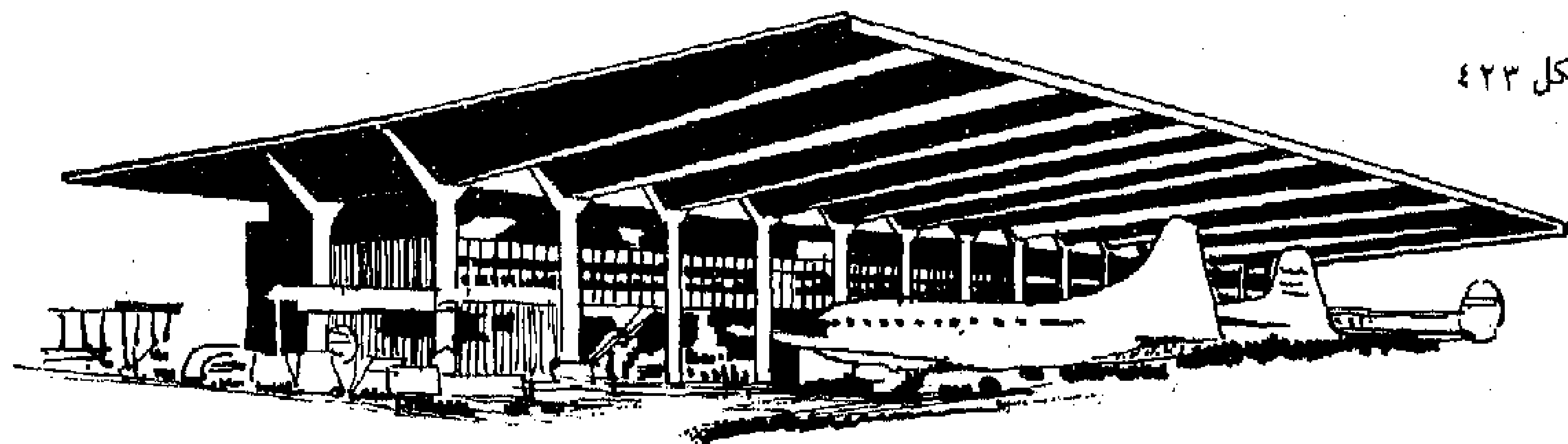
شكل ٤٢١



شكل ٤٢٢



شكل ٤٢٣



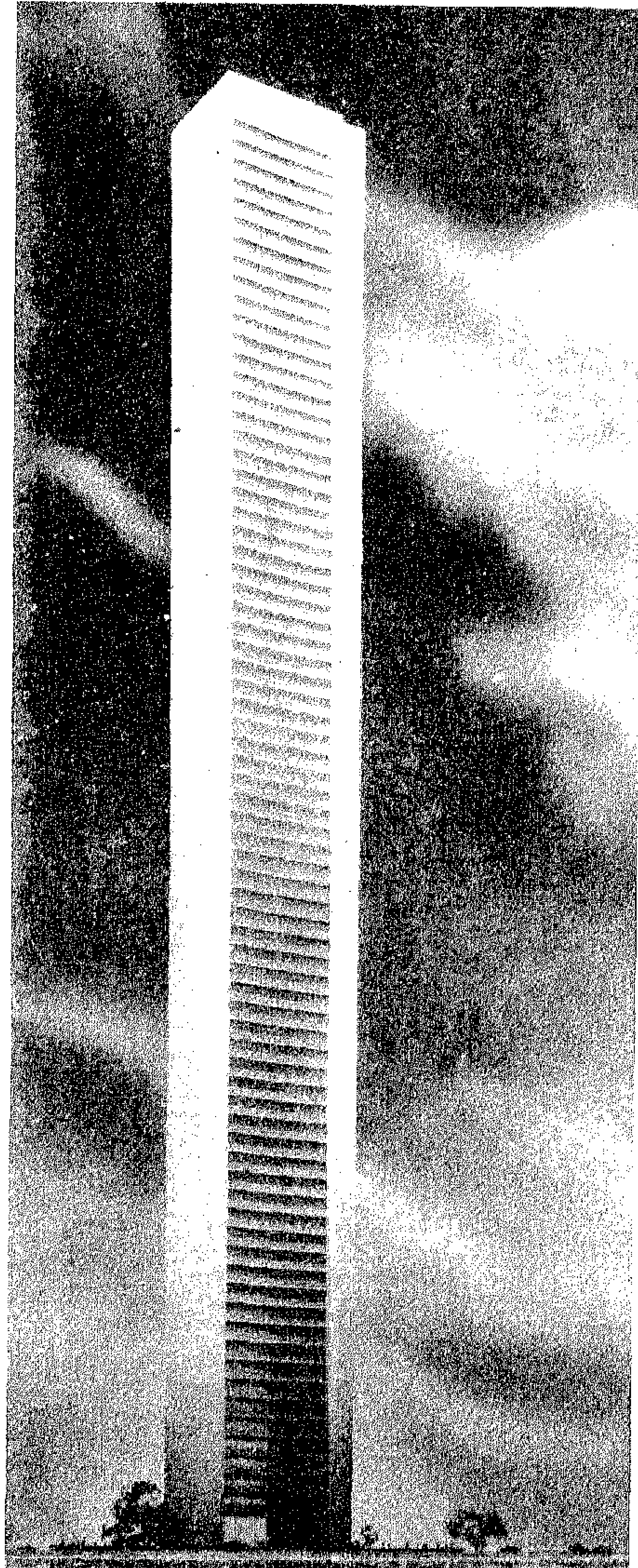
وحدات منطبقة أفقية — قطاع سنمى

(المعماريين ويدرواسل وجونسون والإنشائيين أمان وويتنى)

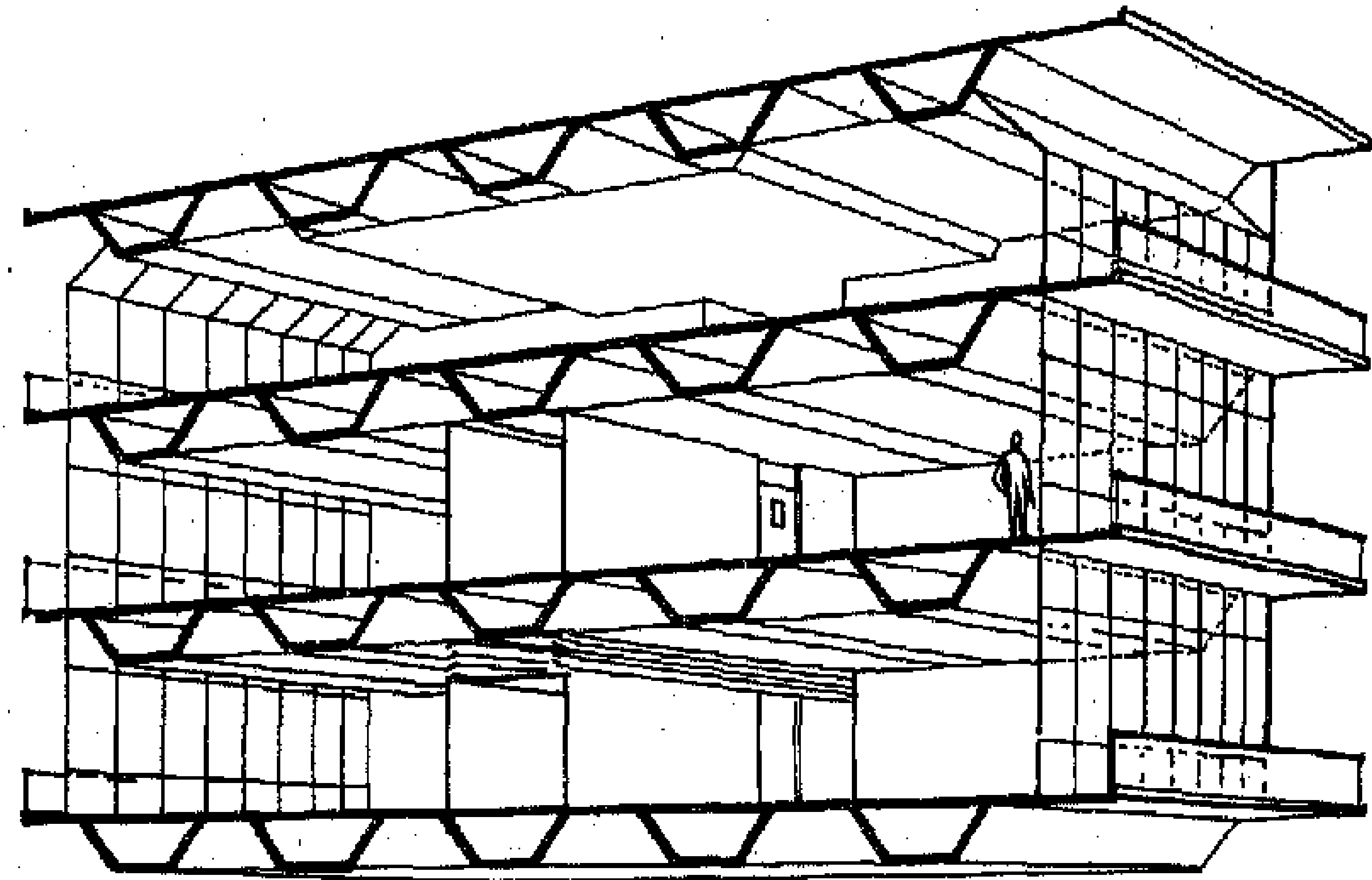
(شكل ٤٢١) مخازن سيرز وروباك فى مدينة تامبا بفلوريدا .

(شكل ٤٢٢) قطاع بالمحلات المذكورة .

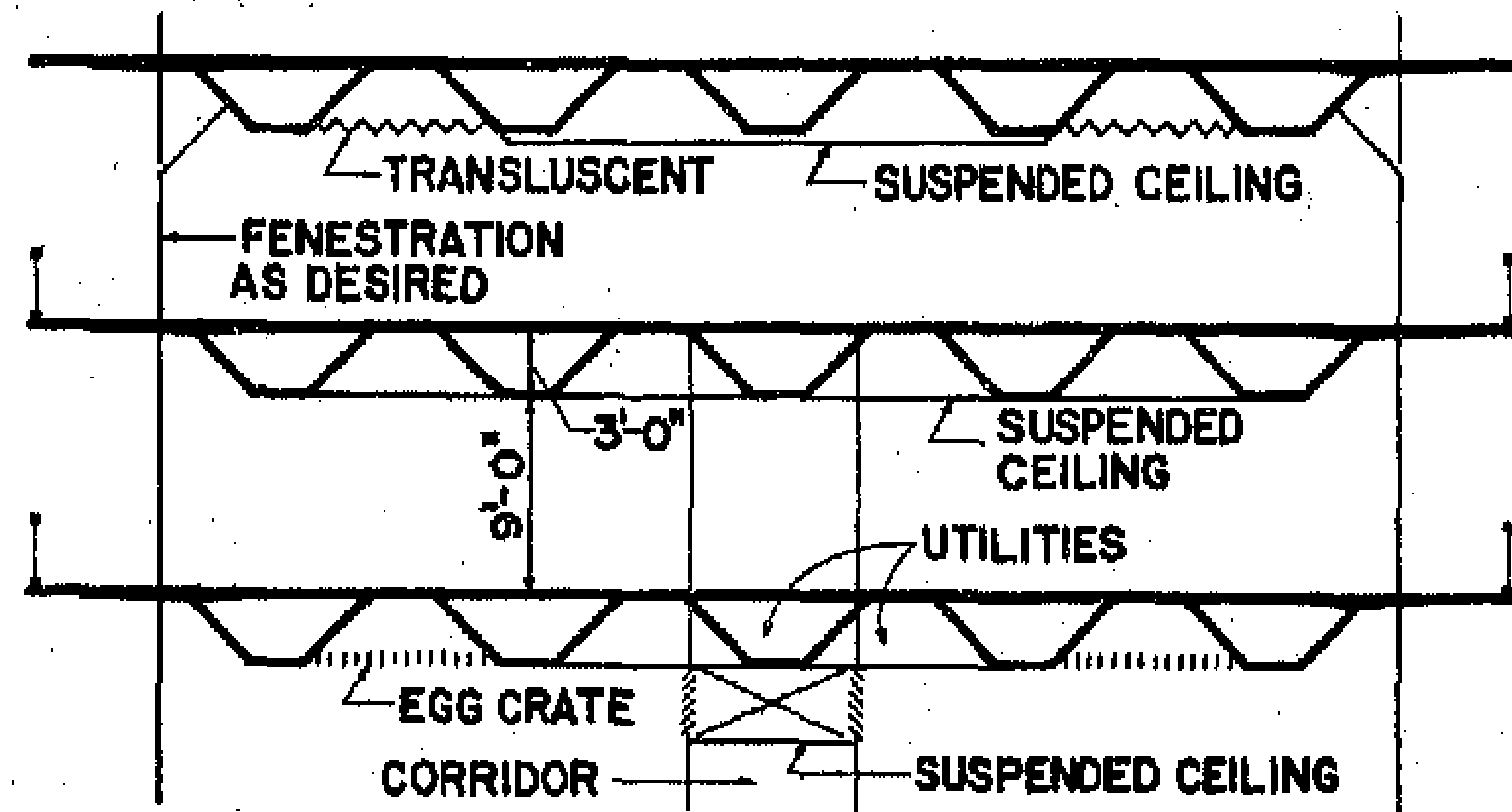
(شكل ٤٢٣) حظيرة طائرات شركة ناشيونال ايرلاينز فى مدينة ميامى بفلوريدا .



شكل ٤٢٥



شكل ٤٢٤

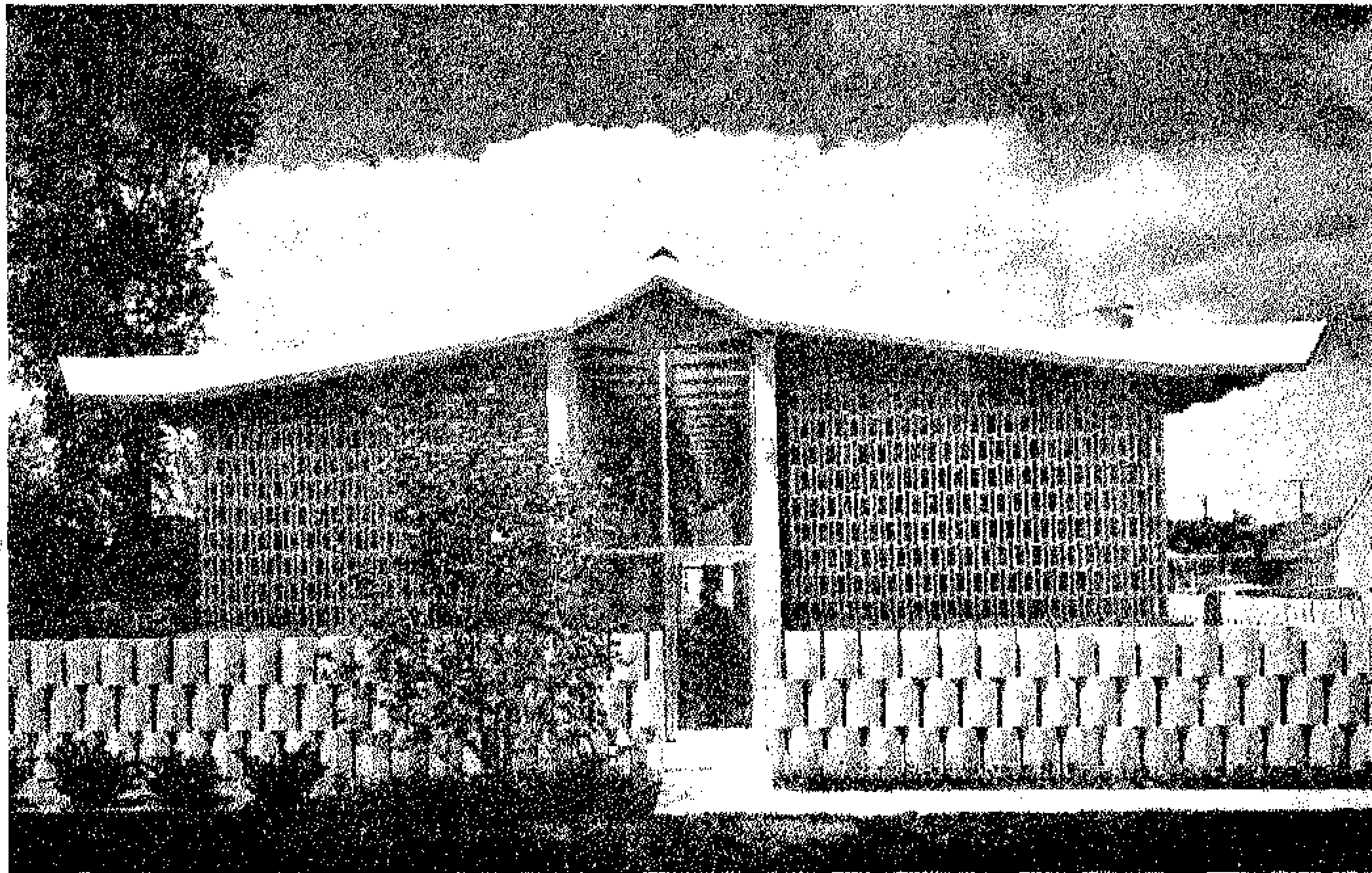


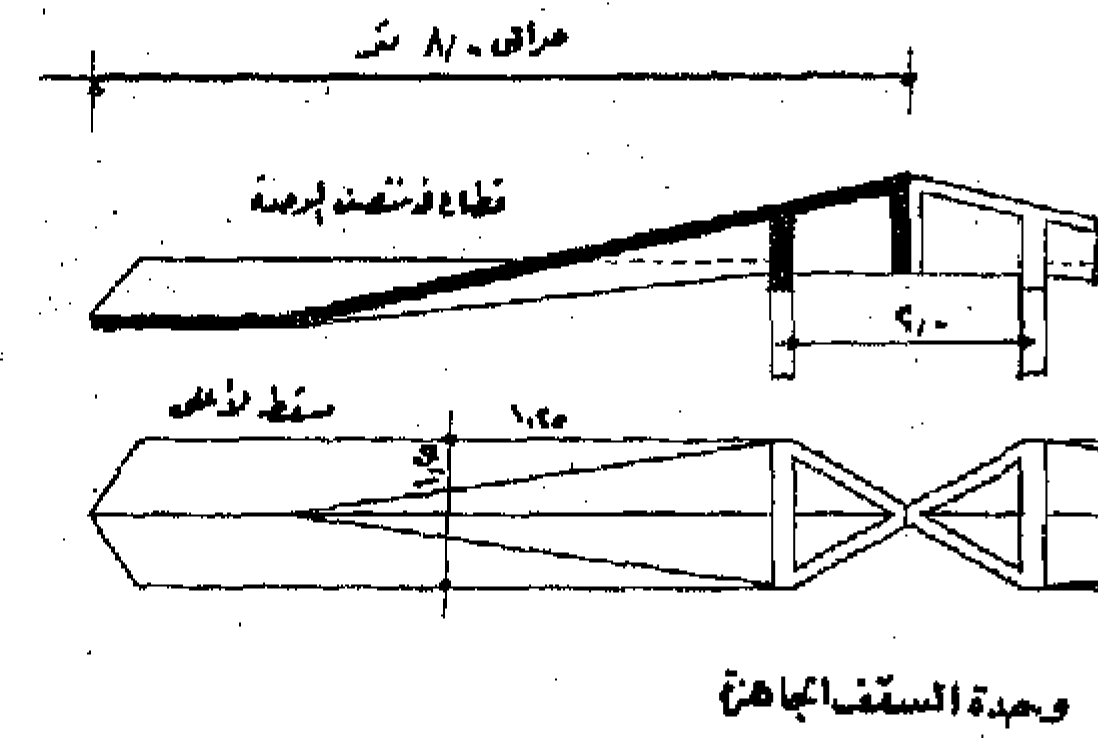
وحدات متطبقة أفقية — (قطاع سنمى)

(شكل ٤٢٤) مشروع لناطحة سحاب خرسانية من ٩٠ دوراً ذات أسقف مسنمة — منظور لقطاع عرضى (الإنشائى بويد أندرسون) .

(شكل ٤٢٥) منظور خارجى عام .

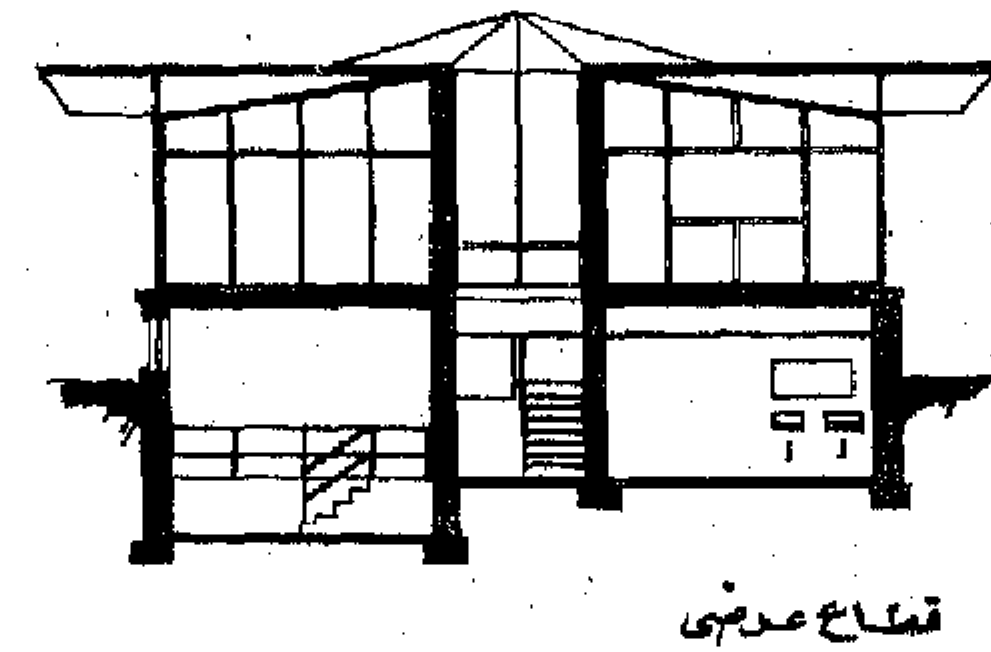
شكل ٤٢٦





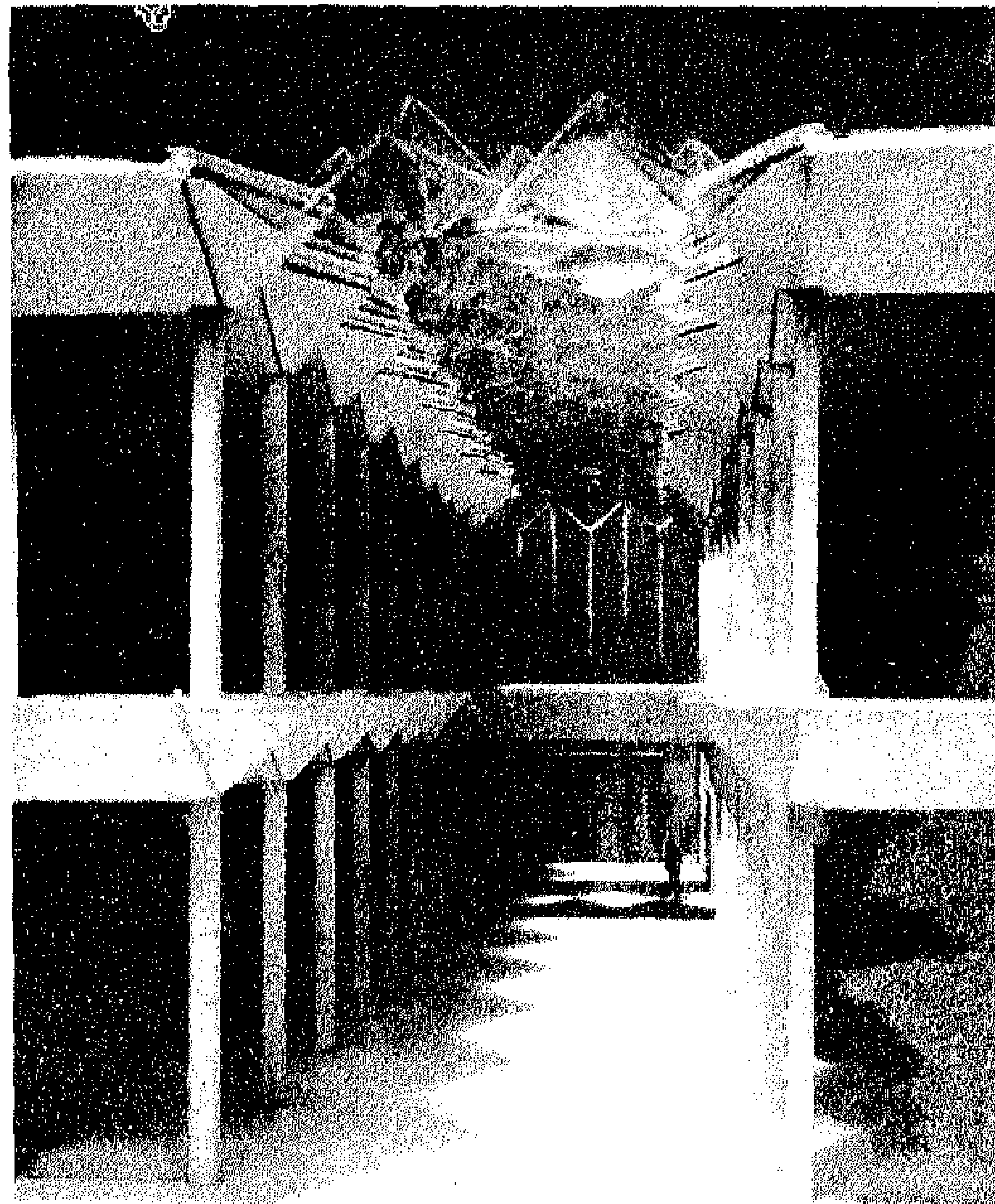
أ

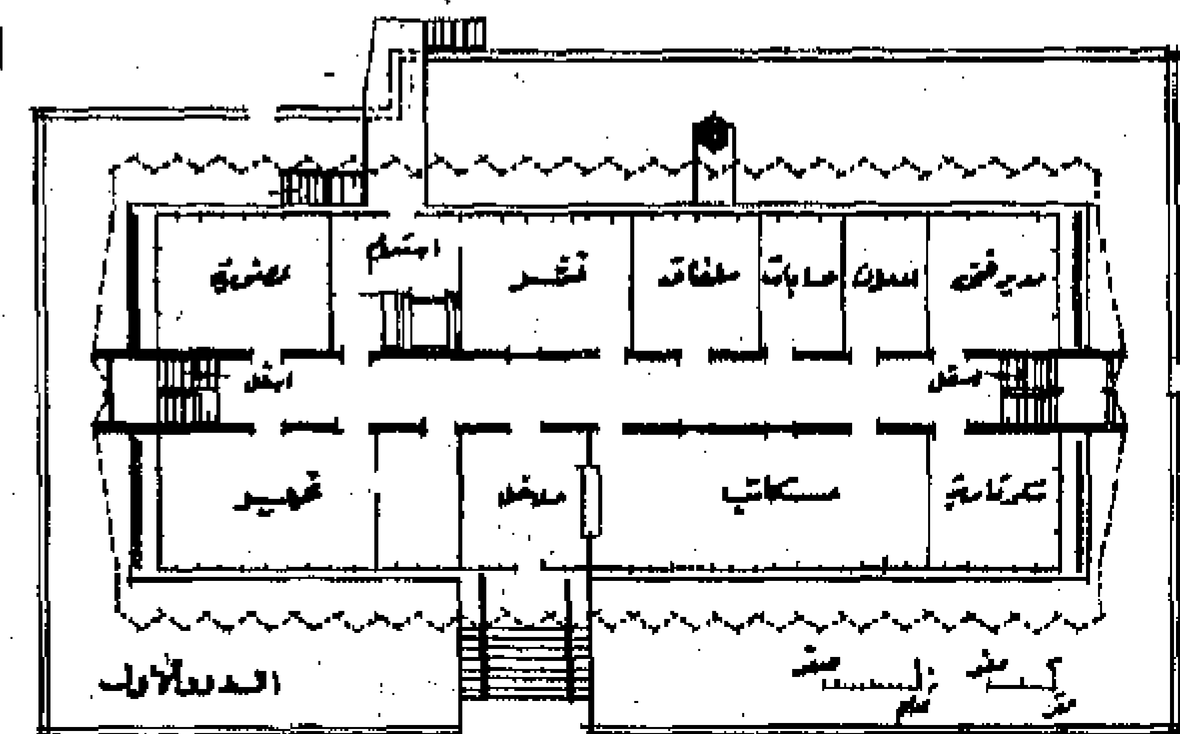
شكل ٤٢٧



ب

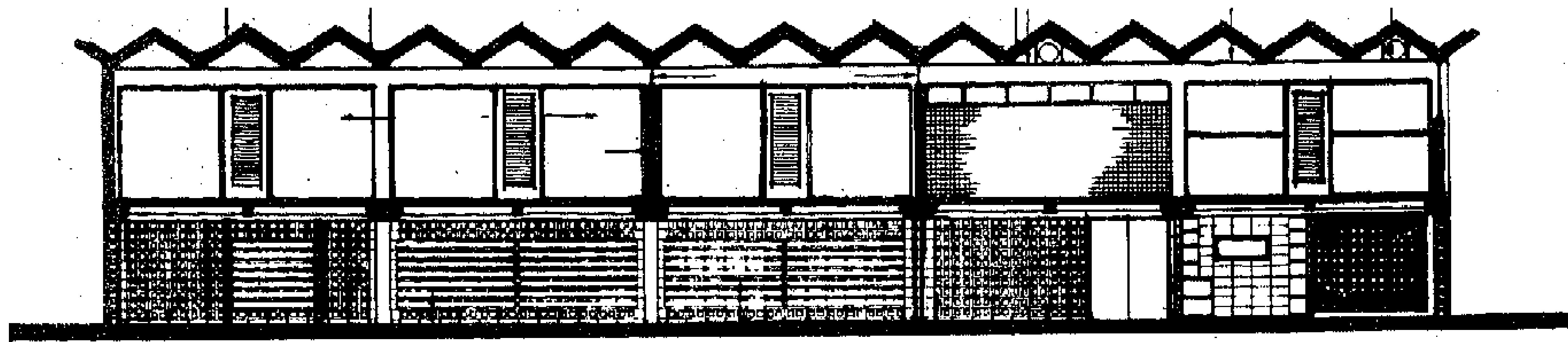
شكل ٤٢٨

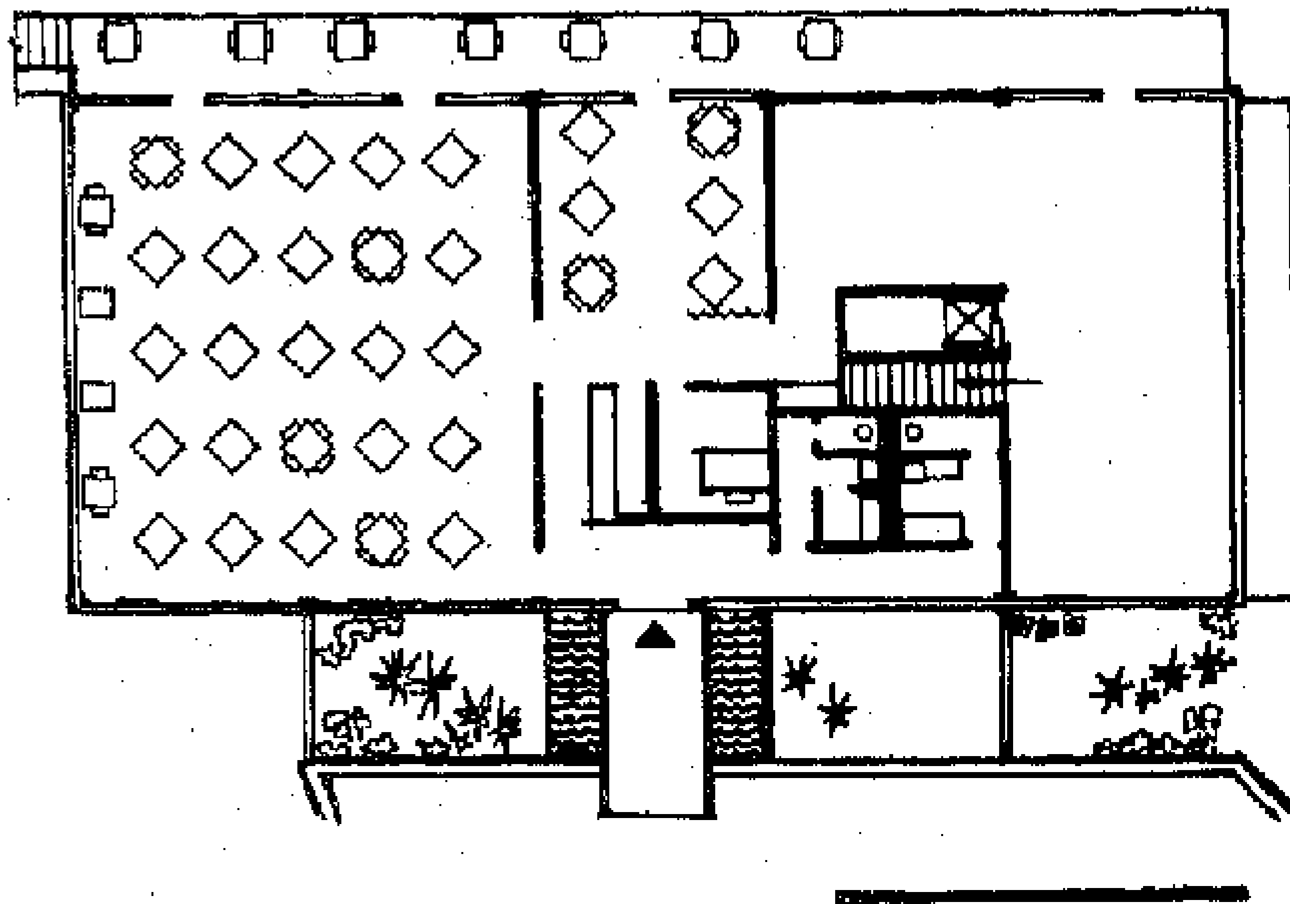




وحدات منطبقة أفقية — (مثلثة القطاع)

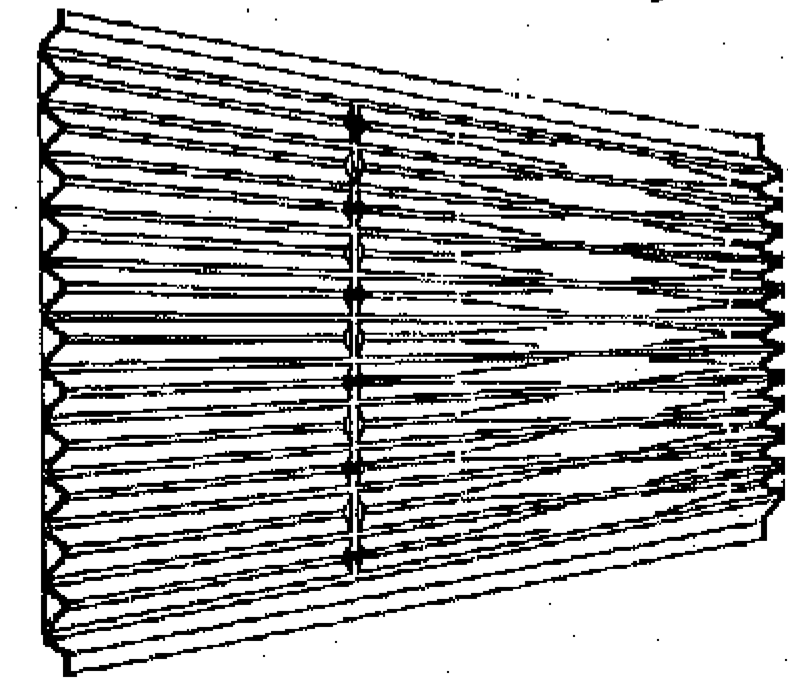
أعمال المعماريين ياماساكى ولاين ويروشركاهم .
(شكل ٤٢٦) المبنى الرئيسى للجمعية الأمريكية للخرسانة بديترويت بولاية متشجن .
(شكل ٤٢٧) قطاع عرضى .
(شكل ٤٢٨) مبنى ماك جريجور التذكارى — جامعة ولاية وين — الطرقة الوسطى .

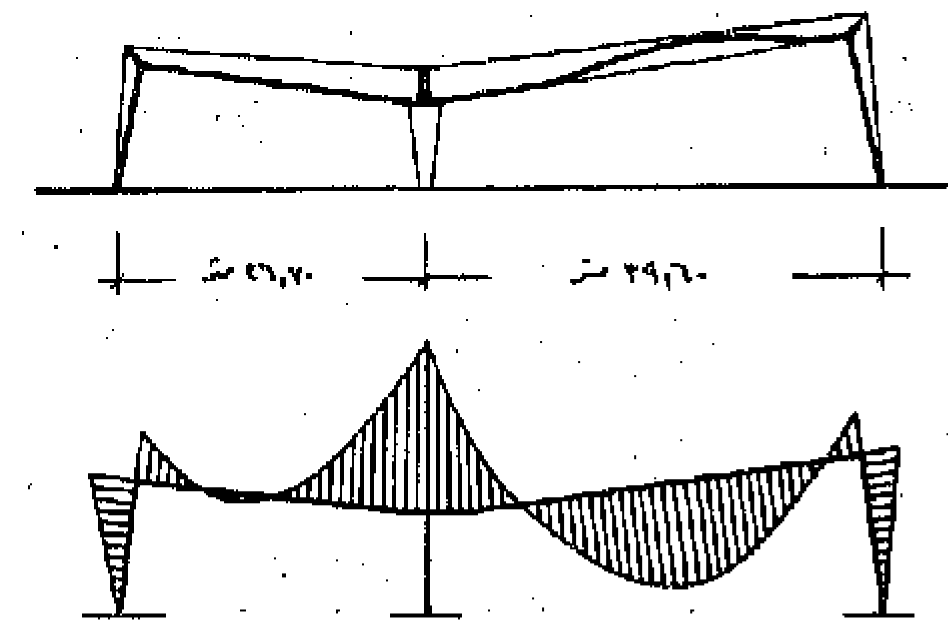


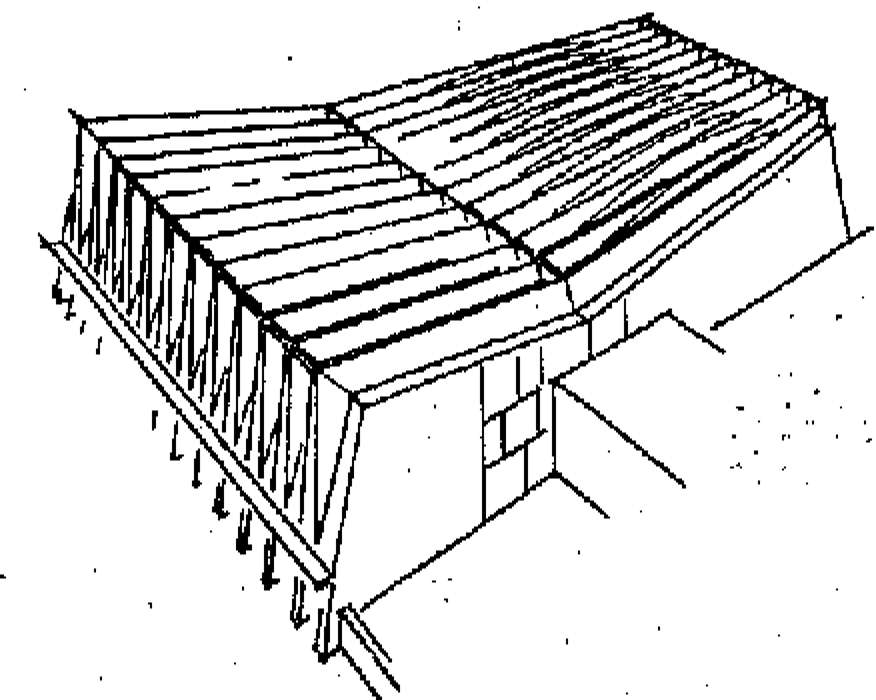


شكل ٤٢٩

شكل ٤٣٠





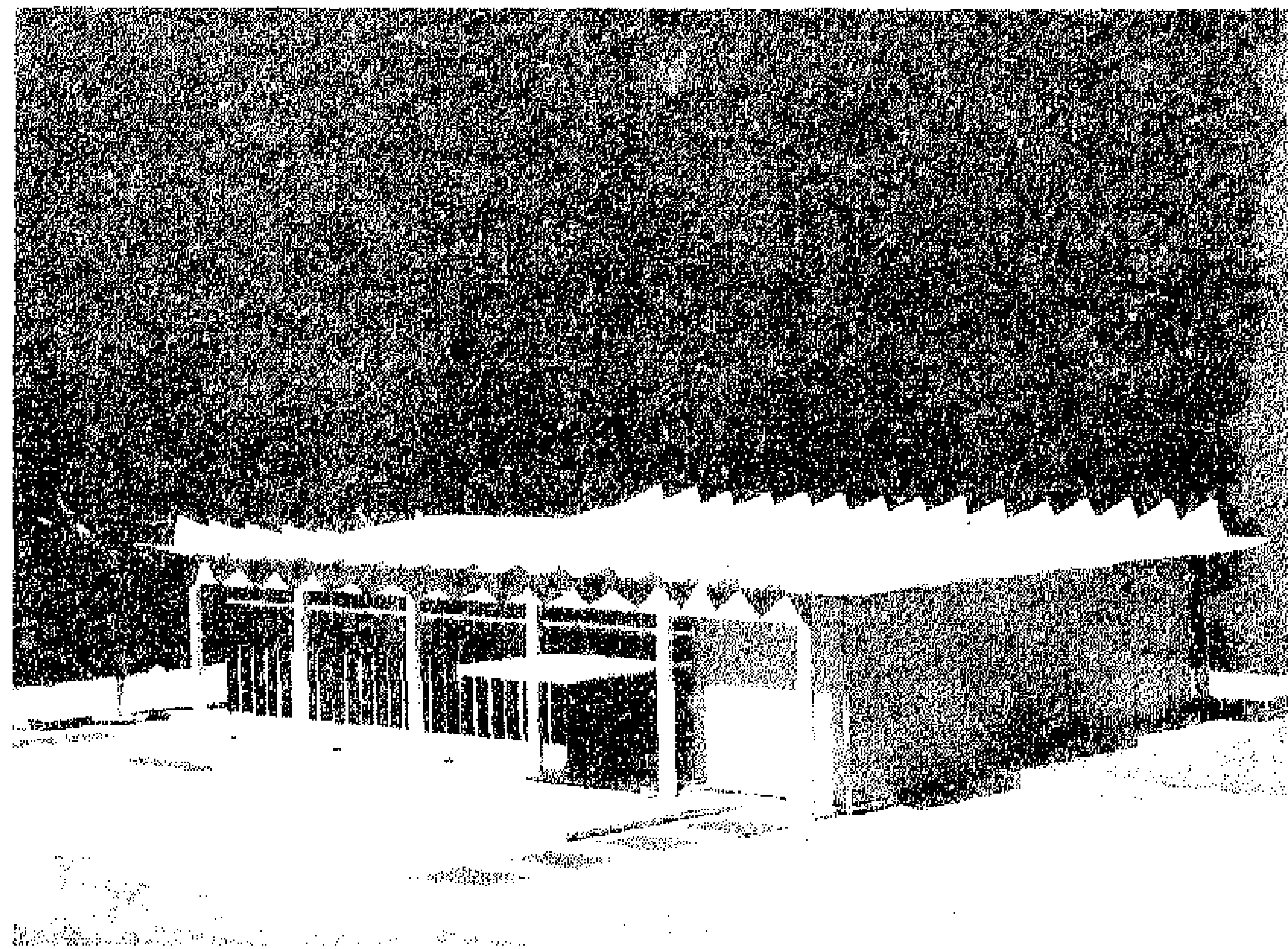


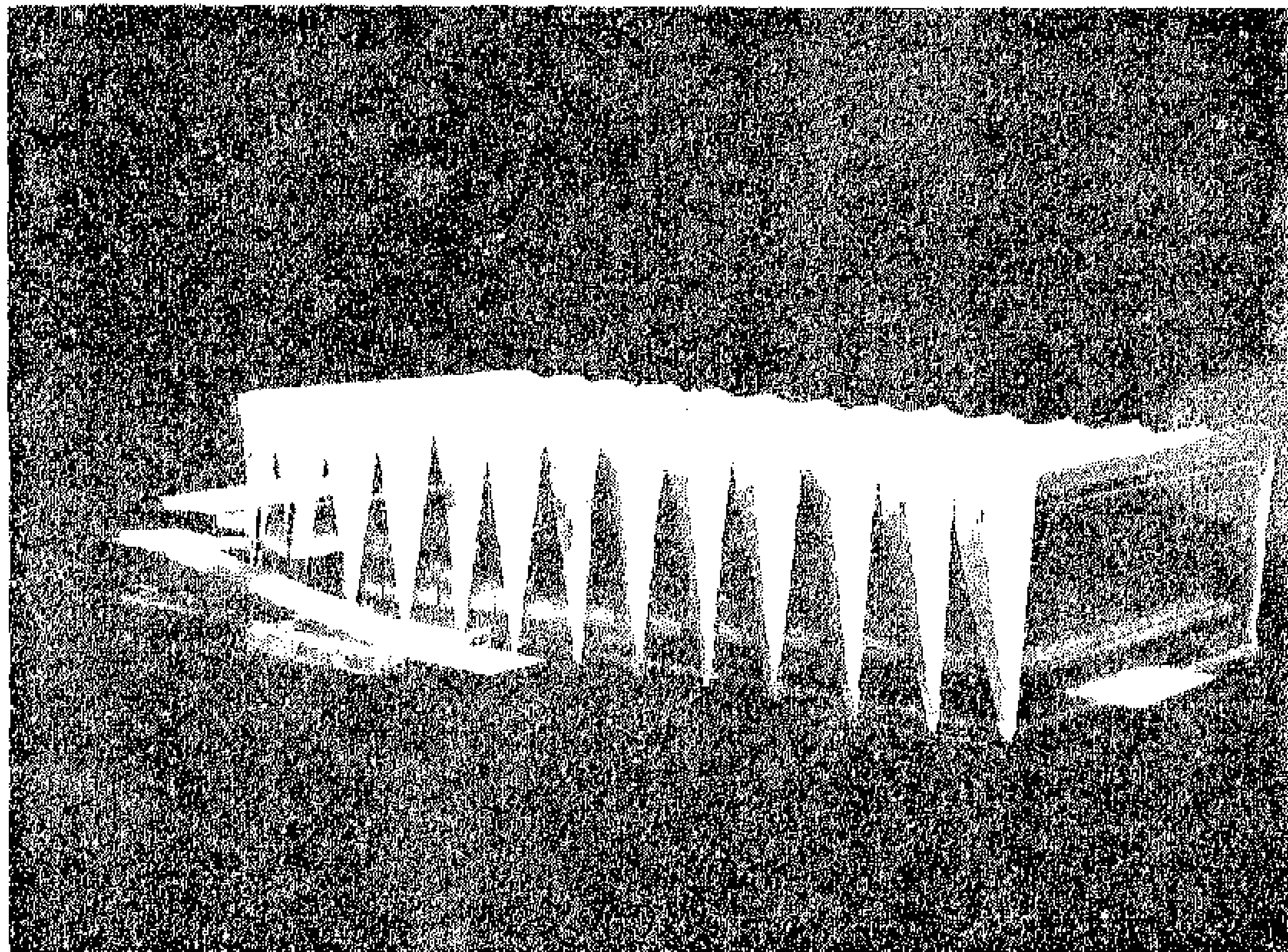
جدات منطبقة أفقية (مثلثة القطاع)

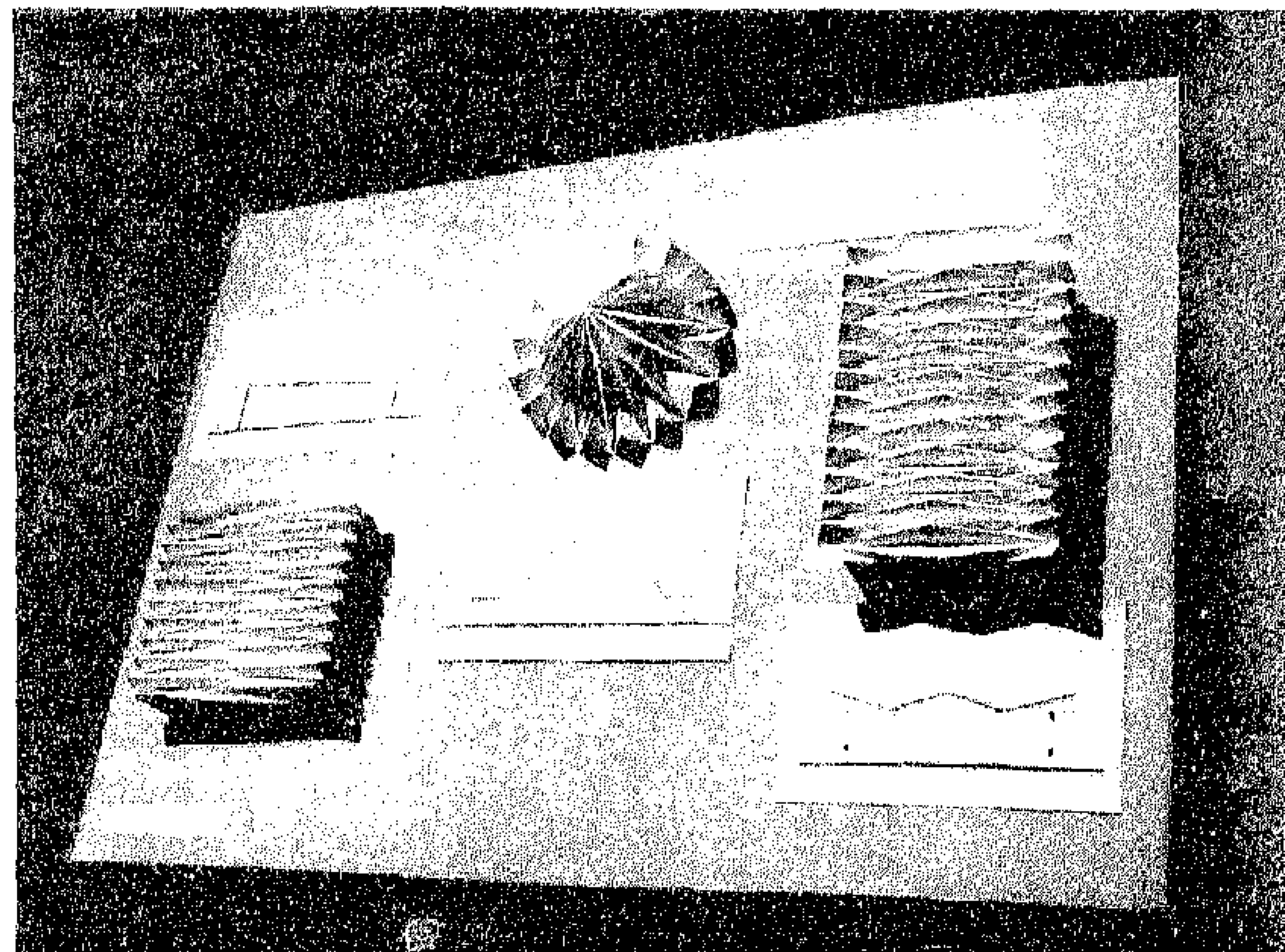
كل (٤٢٩) مطعم وحمام سباحة بلويزيانا بأمريكا (المعماريين جلانكلر وبرودويل) – مسقط وقطاع .

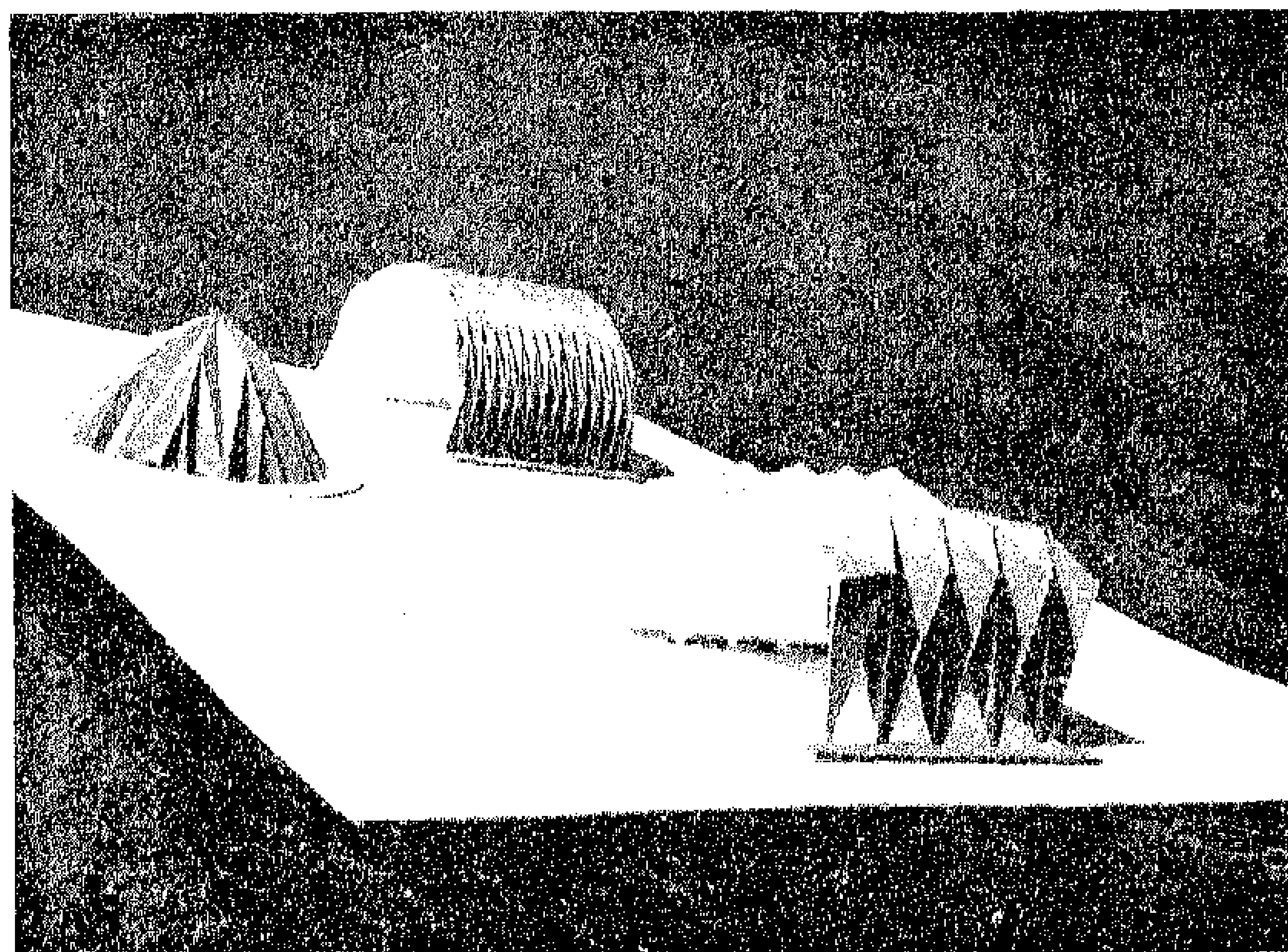
شكل ٤٣٠) صالة الاجتماعات بمقر هيئة اليونسكو بباريس (المهندسون مارسيل بروير وزيرفوس ونيرڤ).

شكل ٤٣١



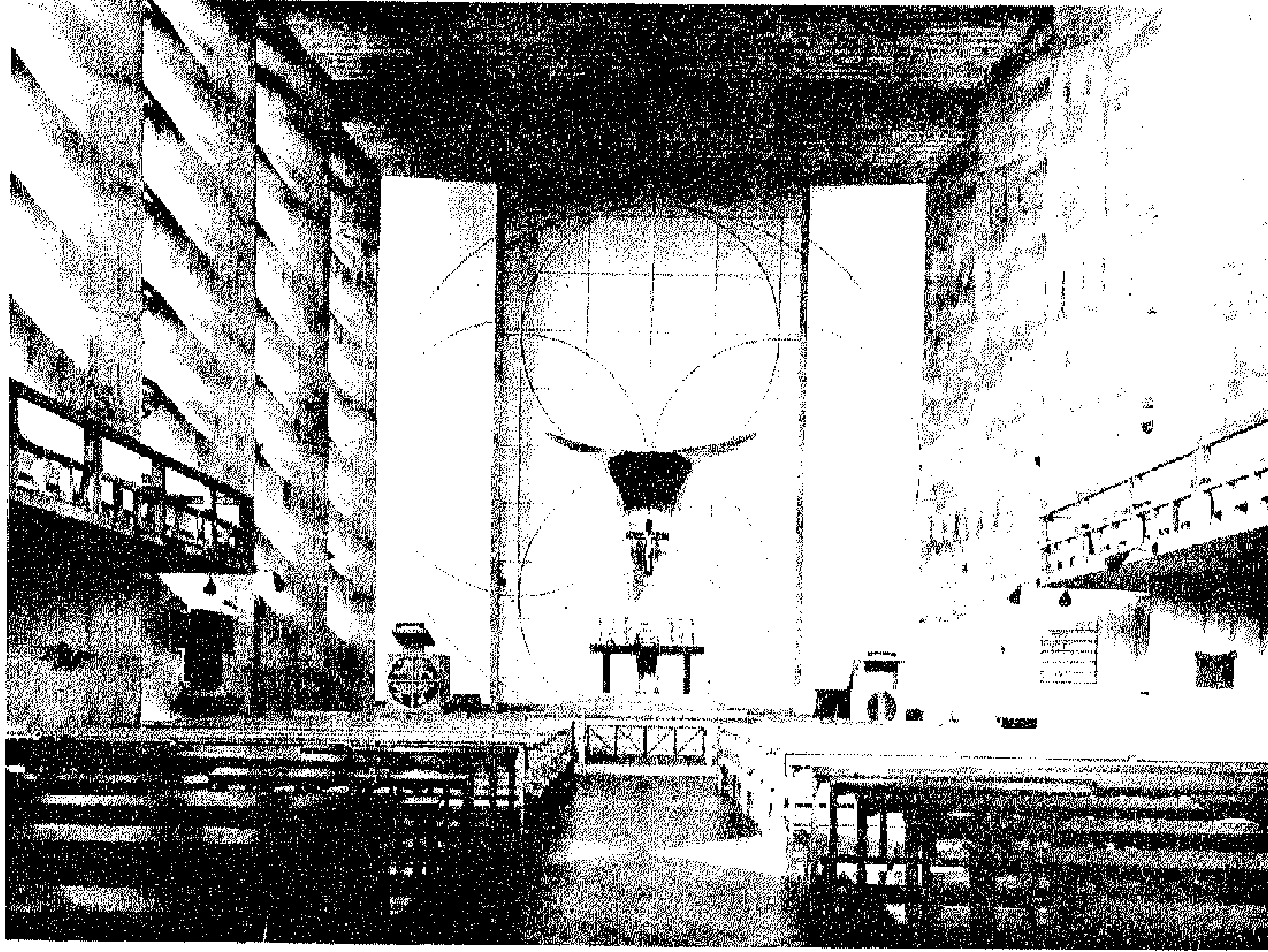






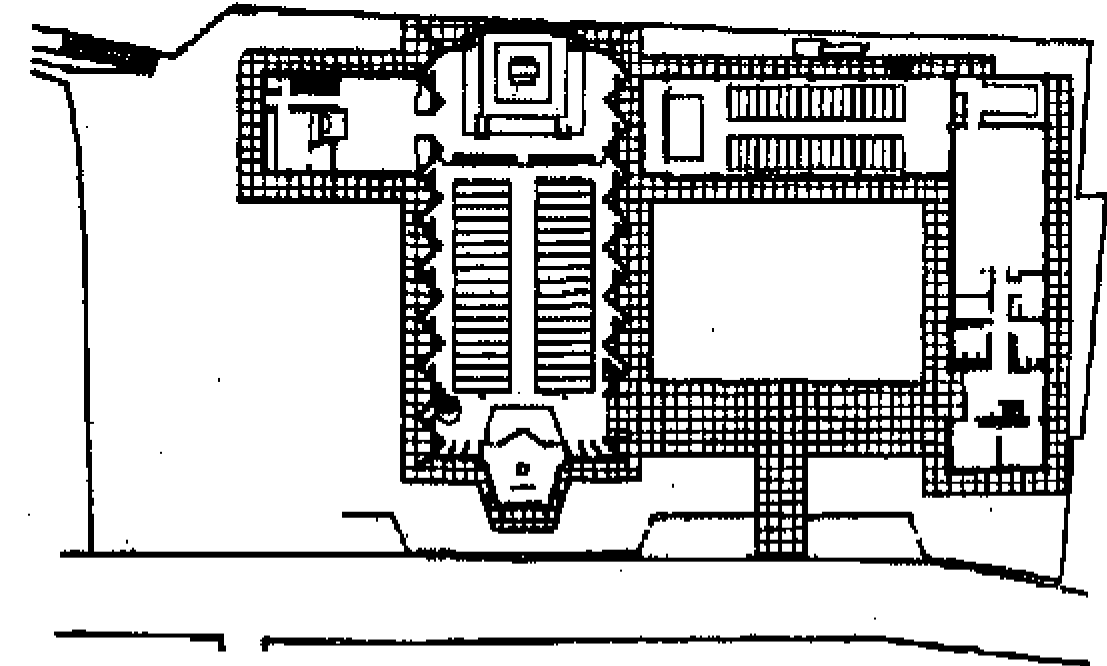
وحدات منطبقة مثلثة القطاع

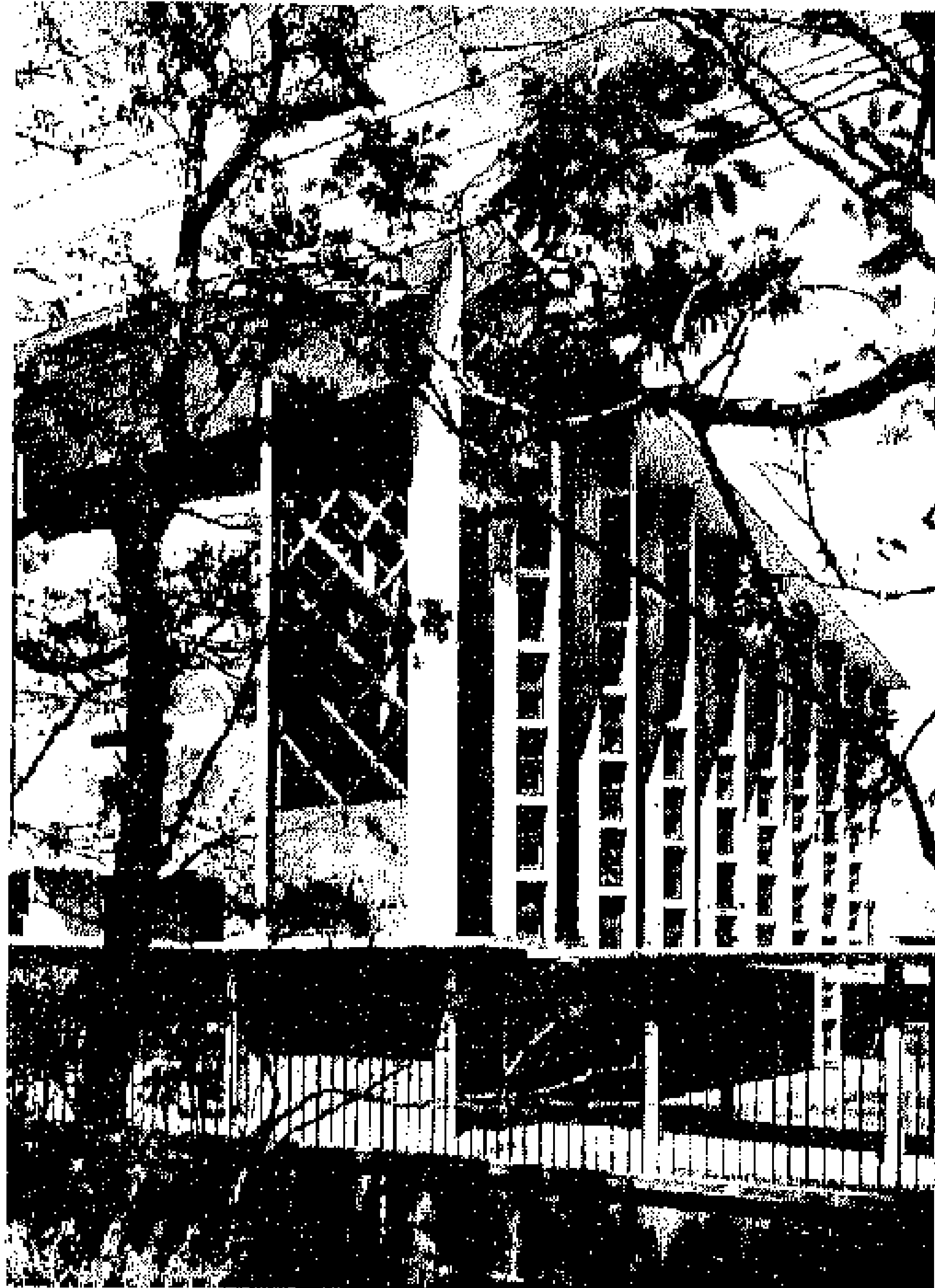
(شكل ٤٣١) تطبيقات على الأسقف المنطبقة مثلثة القطاع .



شكل ٤٣٢

شكل ٤٣٤





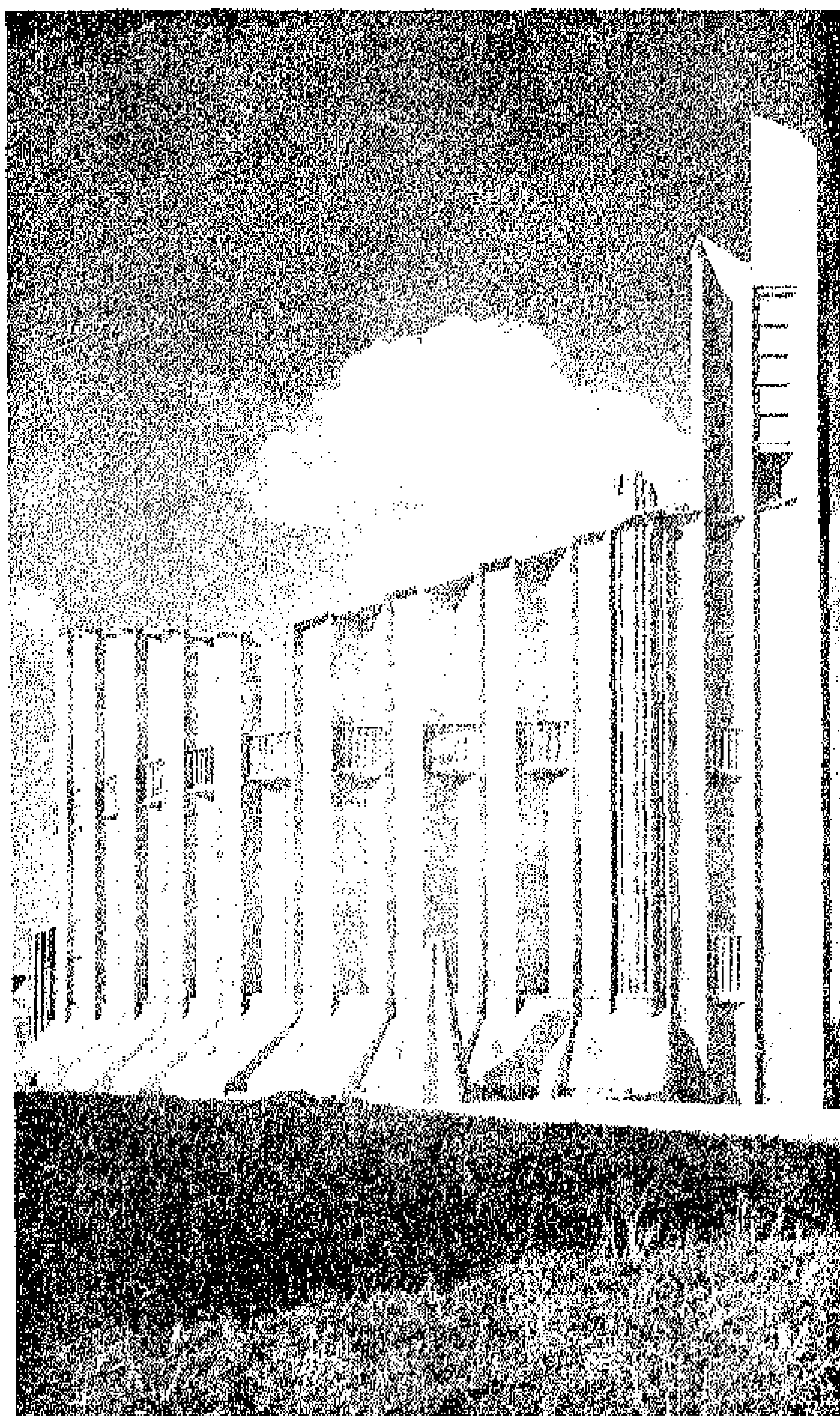
شكل ٤٣٣

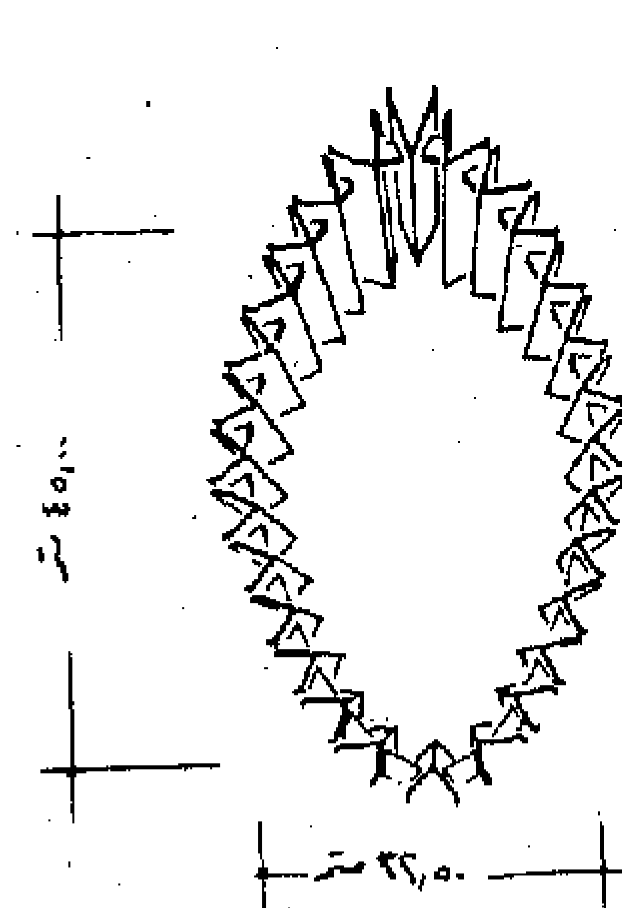
وحدات منطبقة أفقية ورأسية (مثلثة القطاع)

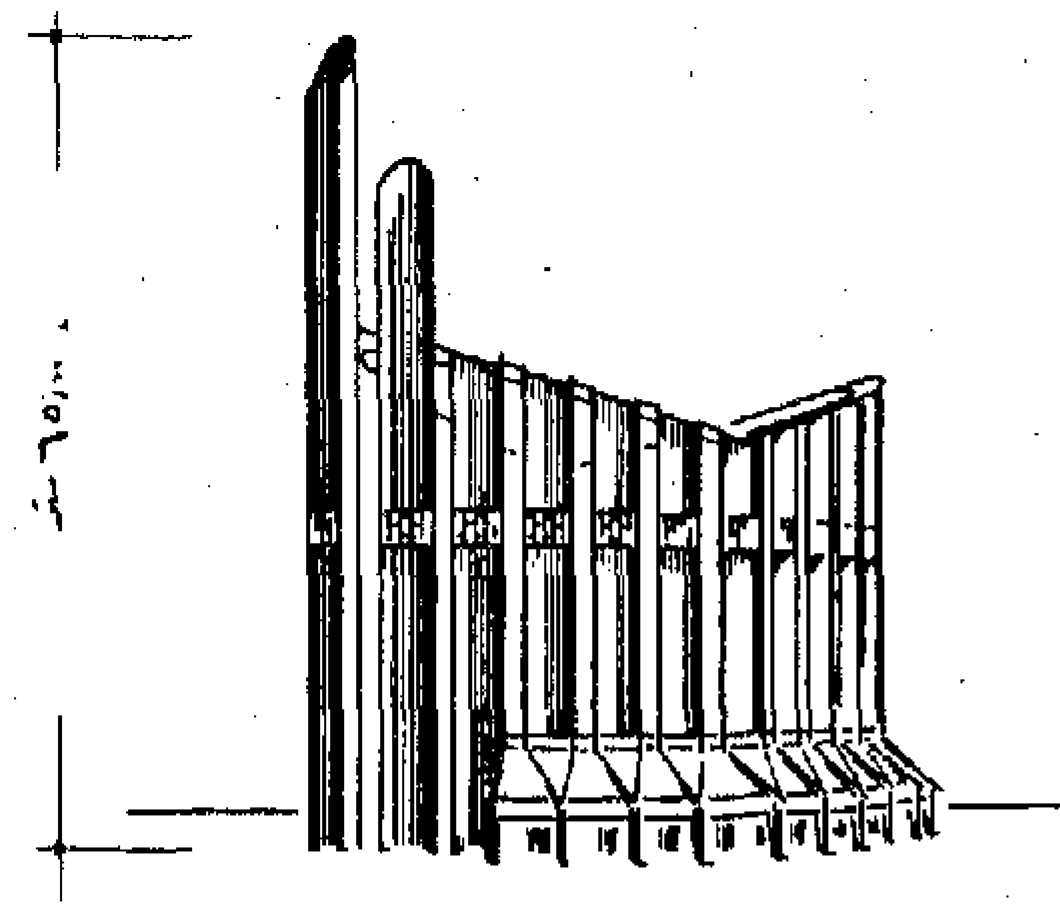
(شكل ٤٣٢) حوائط وأسقف مثلثة القطاع في دير سانت أنسيلم للاخوان البندكتين في طوكيو (المعماريين ريموند ورادو) — منظور داخلى .

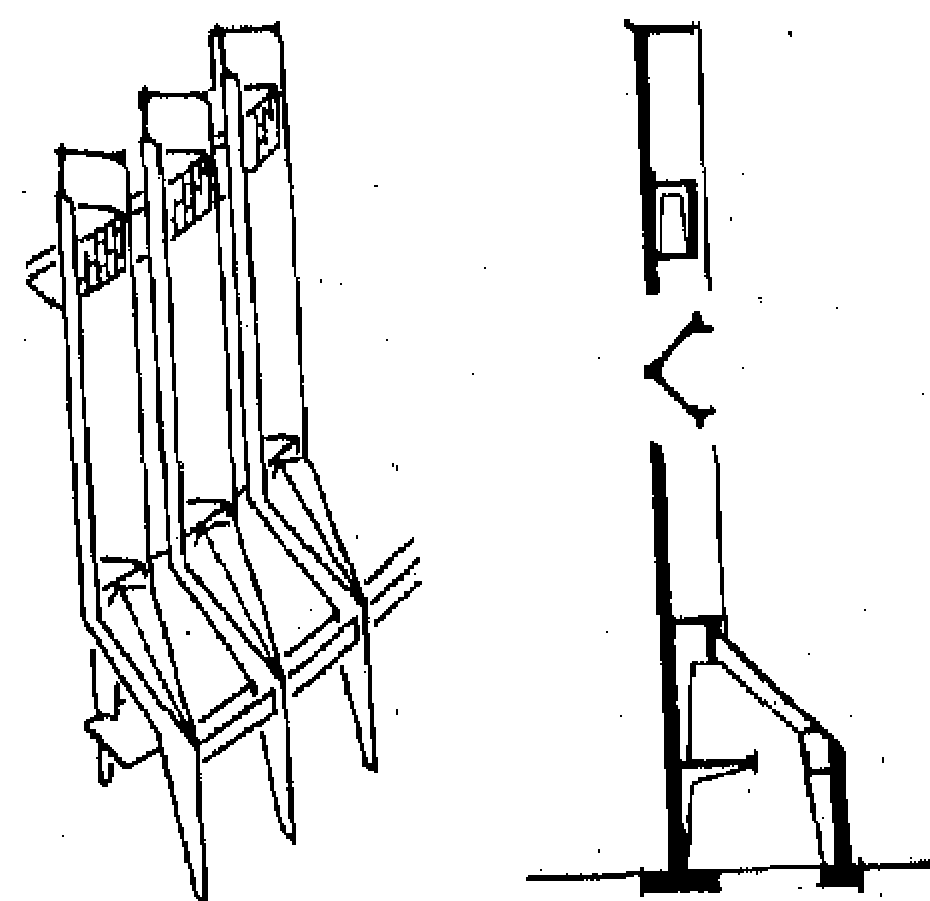
(شكل ٤٣٣) منظور خارجي للكنيسة .

(شكل ٤٣٤) مسقط أفقى .

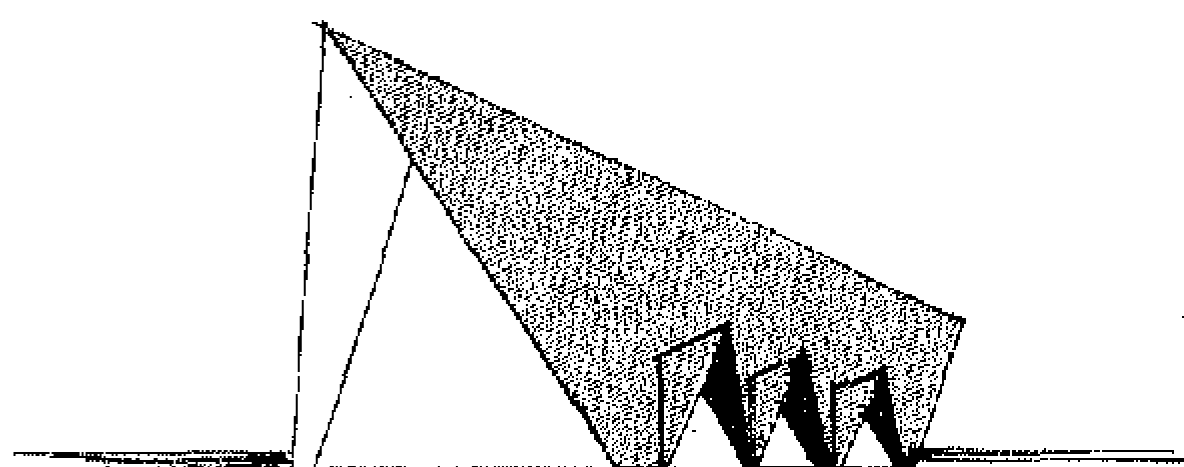


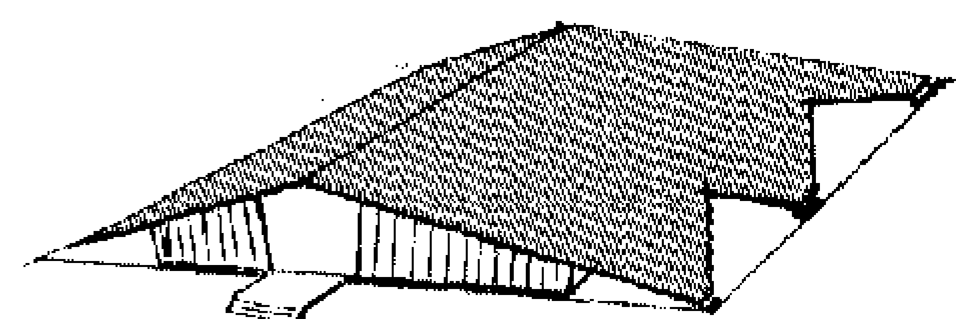




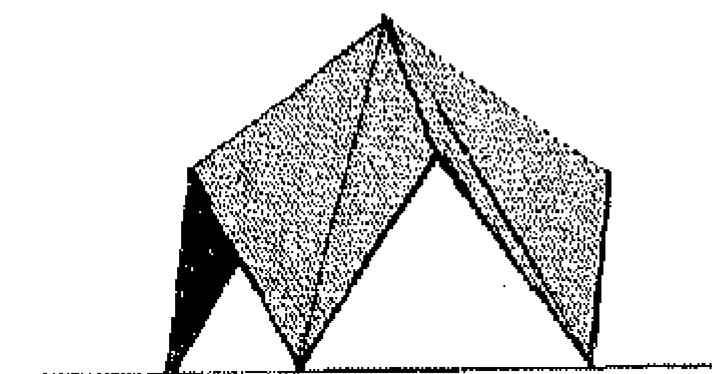


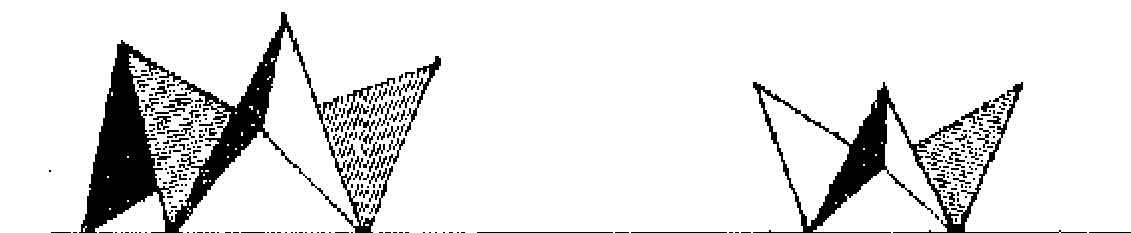
شكل ٤٣٥









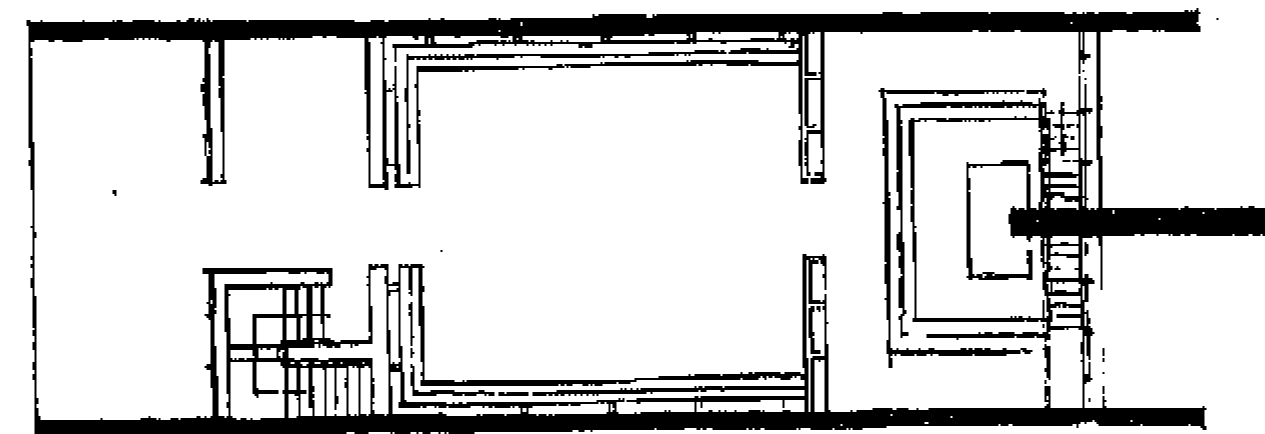


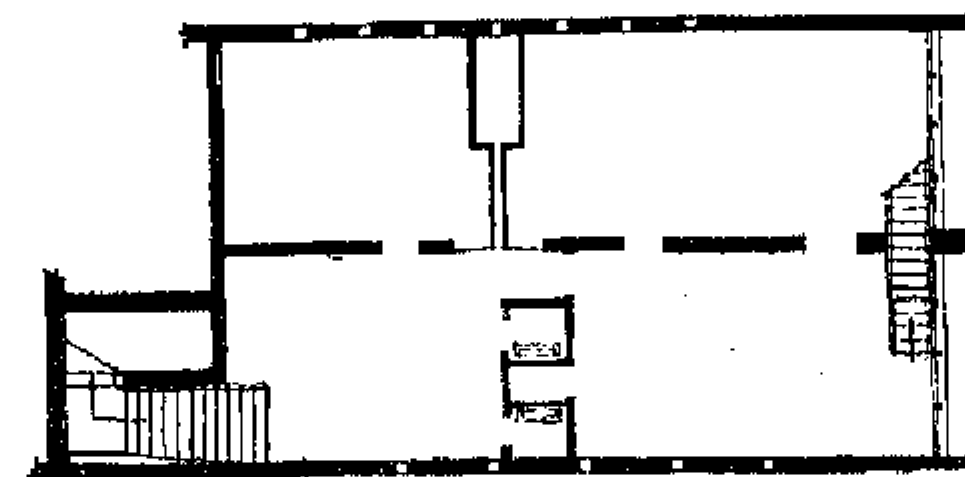
بلاطات فعالة كأسقف وحوائط مائلة

(شكل ٤٣٥) كنيسة نوتردام دى ريوان من حوائط مثلثة القطاع وسقف زائدى مكافئ (المعمارى جويلاوم والإنشائى لافاى ١٩٥٤ — ٥٨) .

(شكل ٤٣٦) بلاطات مستوية فى أسقف مائلة على مساقط مستطيلة ومربعة

شكل ٤٣٧





شكل ٤٣٨

بلاطات فعالة كأسقف وحوائط حاملة

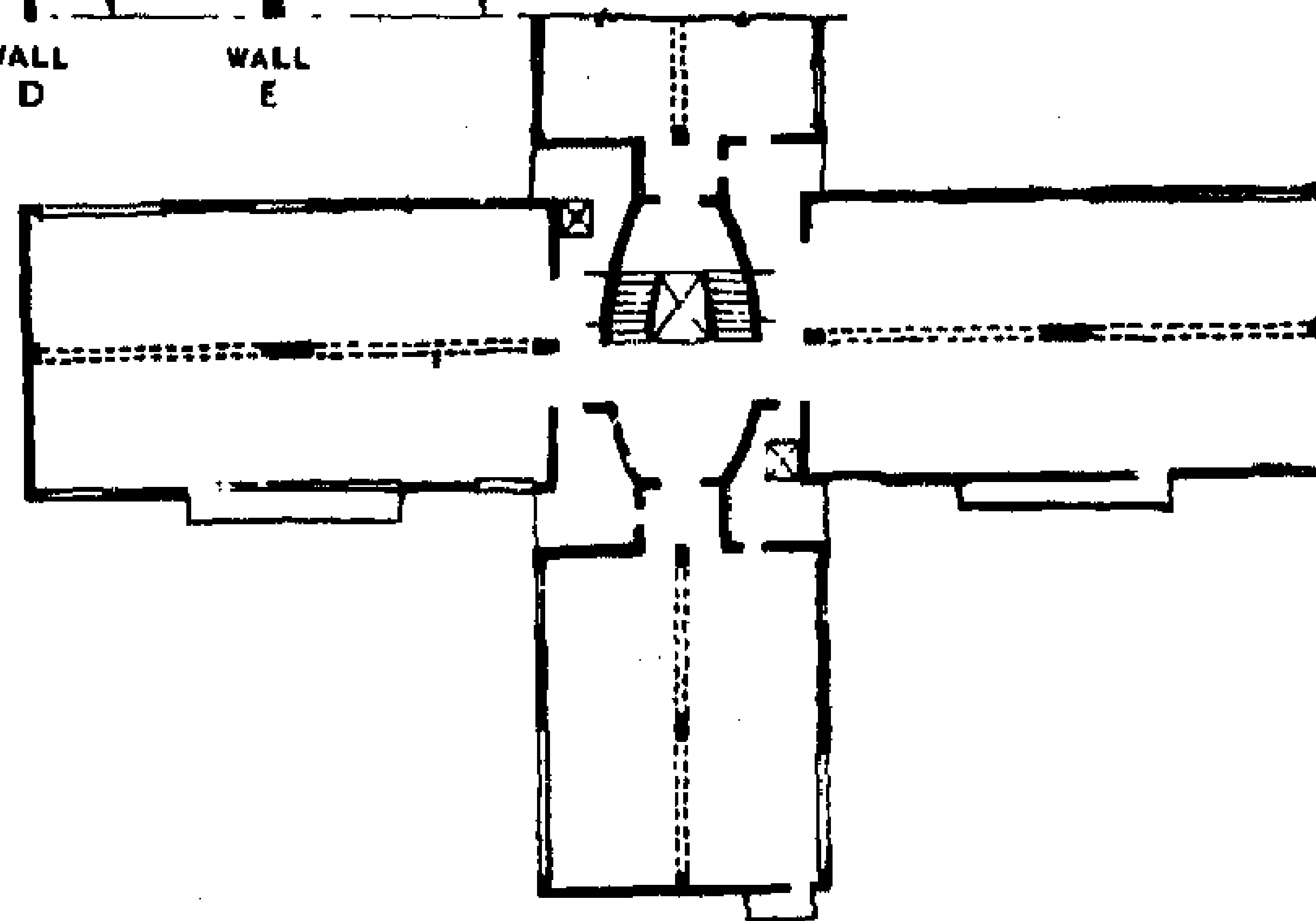
(شكل ٤٣٧) كنيسة الصليب المقدس ف
سيدونا بأريزونا (المعماريين أنشن وألن
والإنشائى روبرت دوويل
(شكل ٤٣٨) مسقط للدور الأرضى والبدروم .

شكل ٤٣٩

CANTILEVER ACCESS BALCONY
LIFT SHAFT
MAIN STAIRCASE
LIFT SHAFT
8" R.C. SLAB
EXTERNAL WALLING
FIRE ESCAPE STAIRS

شكل ٤٤٠

14'-0"
8'-6"
14'-0"
53'-0"
WALL A
WALL B
WALL C
WALL D
WALL E



شكل ٤٤١

الإنشاء الصندوقى

(شكل ٤٣٩) منظور لعمارة من عشرة أدوار فى هول فيلد بلندن (المعمارى بيتر دانكان والإنشائى أوف أراب وشركاه) .

(شكل ٤٤٠) أنواع الحوائط فى الإنشاء بالحوائط العرضية فى العمارة السابقة — المعدل الإنشائى ١٨ قدما وارتفاع الدور ٨ أقدام ، ٩ بوصات .

(شكل ٤٤١) حوائط خارجية حاملة فى عمارات هوبت بوينت السكنية فى هاى جيت بلندن (المعماريين مكتب تكتون والإنشائى كبير وشركاه) .

TYPICAL FLOOR

MAIL CONVEYOR

DUCTS & PIPES

ELEVATORS

FREIGHT

DUCTS & PIPES

21ST FLOOR

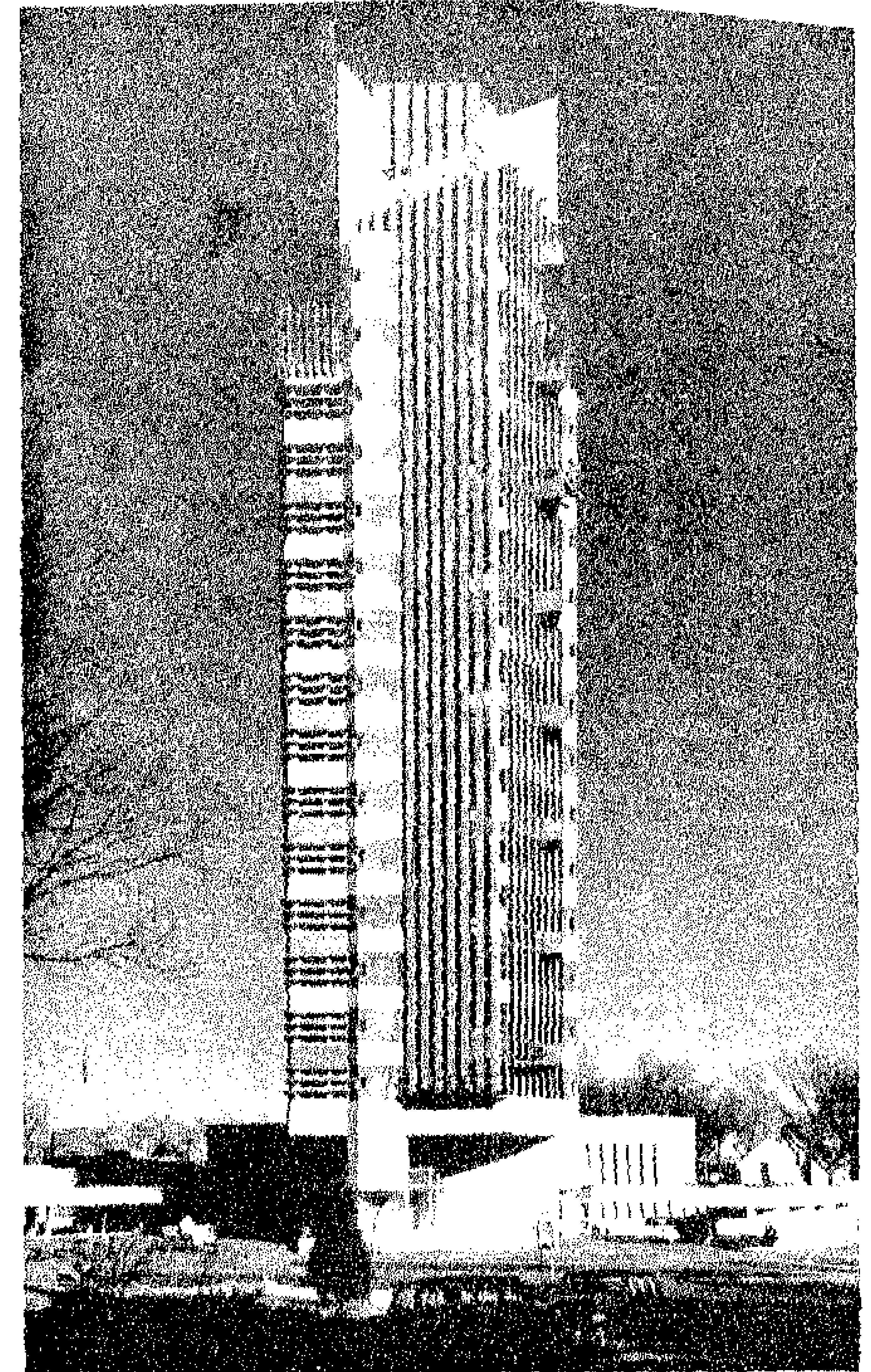
شكل ٤٤٤

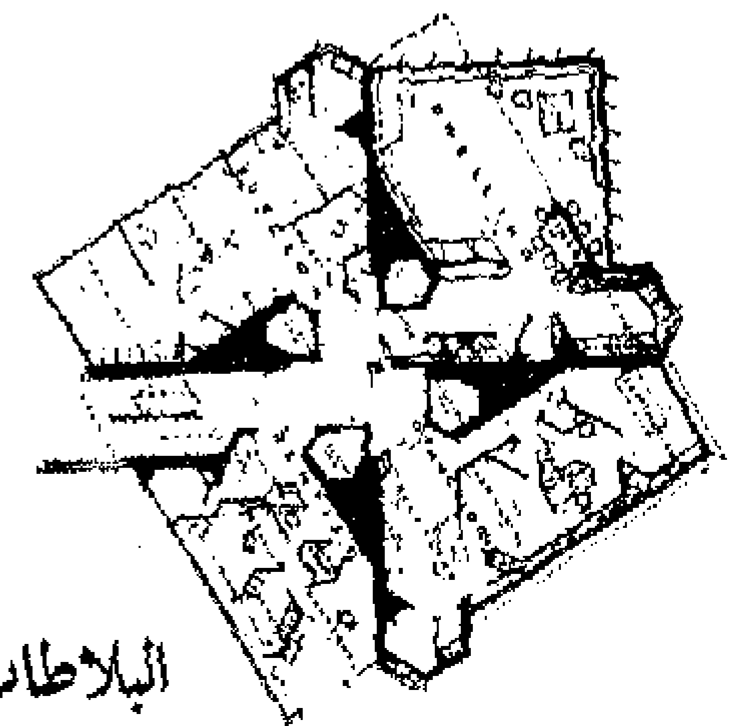
1ST FLOOR

GROUND FLOOR

1ST BASEMENT

2ND BASEMENT





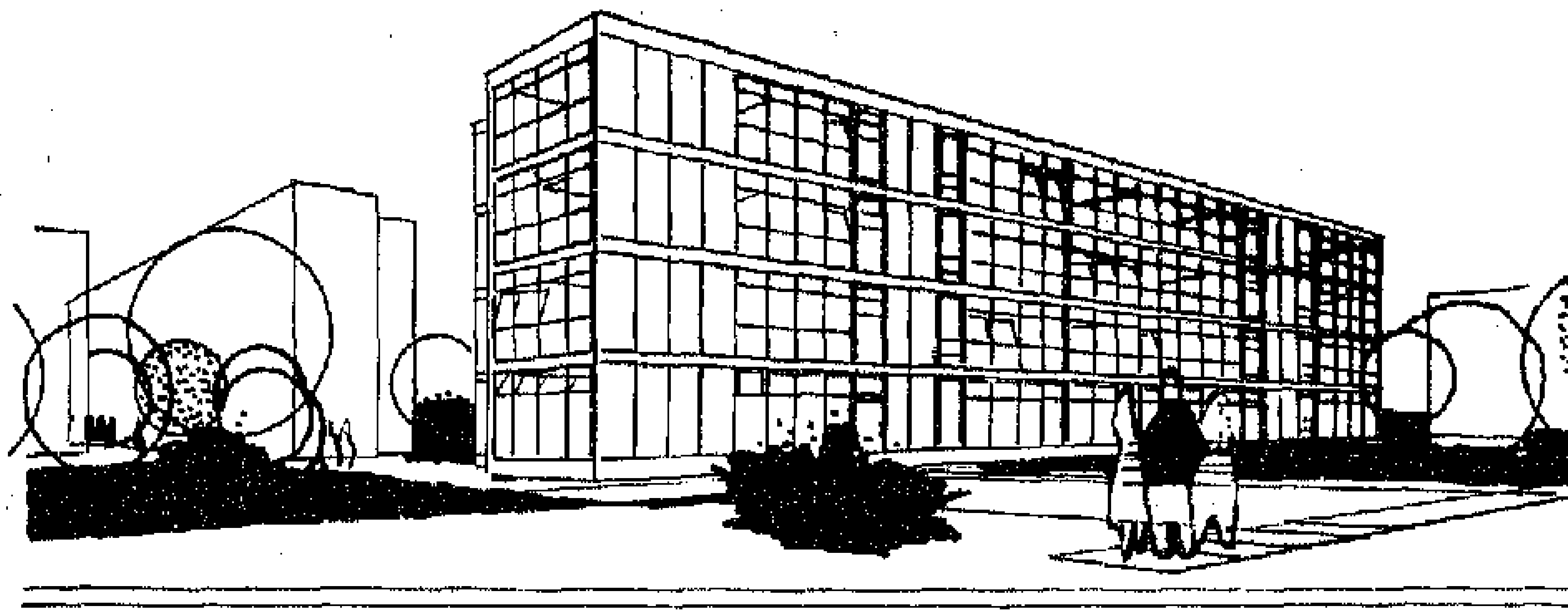
شكل ٤٤٣

البلاطات الرأسية كقلب حامل

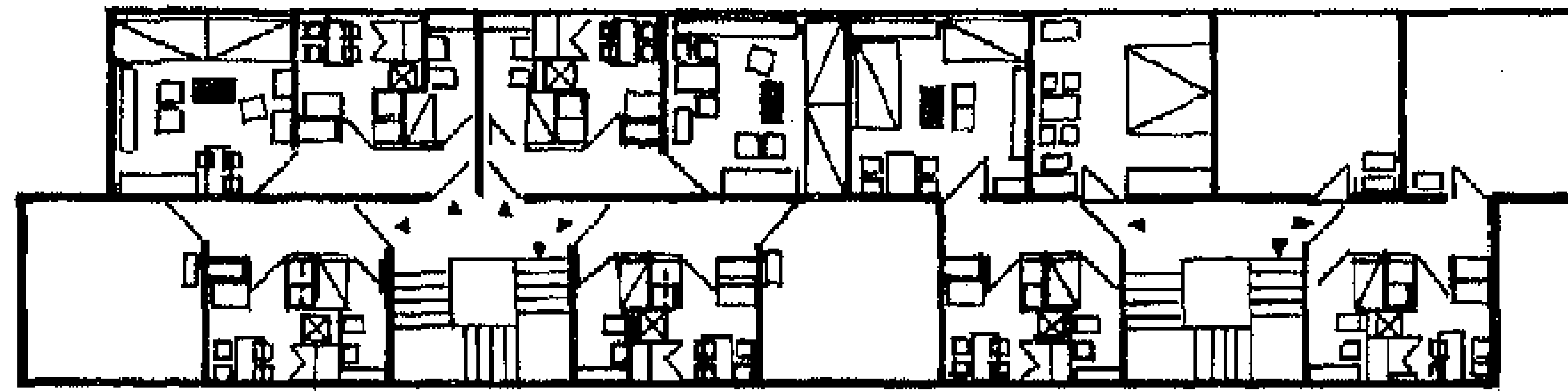
(شكل ٤٤٢) برج برايس ، فى بارتل ڤيل بأوكلاهوما .

(شكل ٤٤٣) مسقط أفقى للبرج .

(شكل ٤٤٤) مبنى مكاتب شركة برتش كولومبيا الكهربائية فى ڤانكوڤر فى كولومبيا البريطانية بكندا .



شكل ٤٤٥



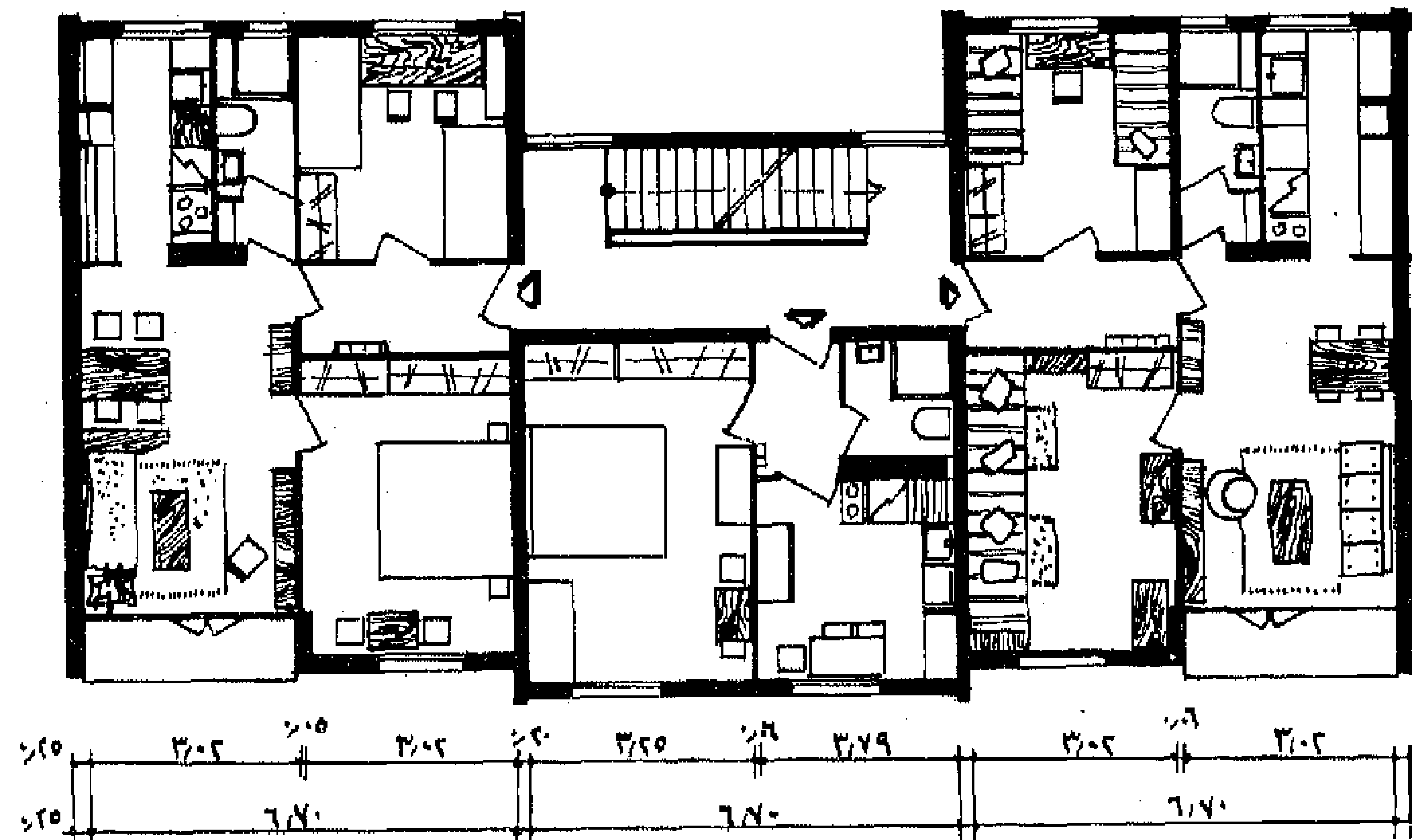
شكل ٤٤٦

تأثير سبق التجهيز على التصميم المعماري — بانوهات على معدلات جزئية

(شكل ٤٤٥) منظور لمجموعة سكنية ذات بانوهات حاملة بعرض ١٫٠٠م وأسقف ٤٫٠٠م × ٤٫٠٠م (طريقة — Ju-60 — يوغوسلافيا)

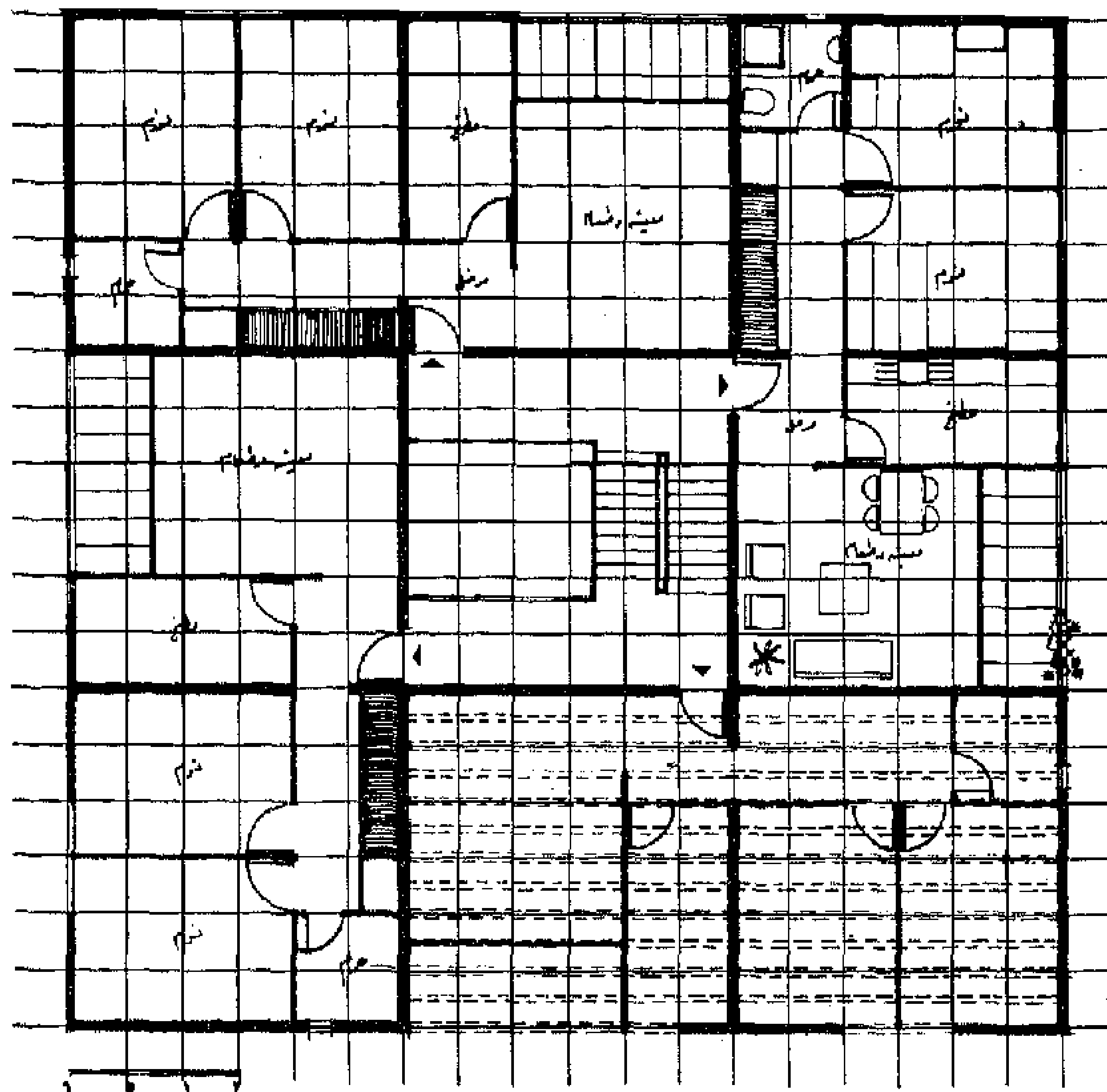
(شكل ٤٤٦) مسقط للمجموعة السكنية السابقة .

(شكل ٤٤٧) مسقط لمجموعة بنفس البانوهات السابقة للحوائط وبانوهات للأسقف ببحر ٦٫١٠م .

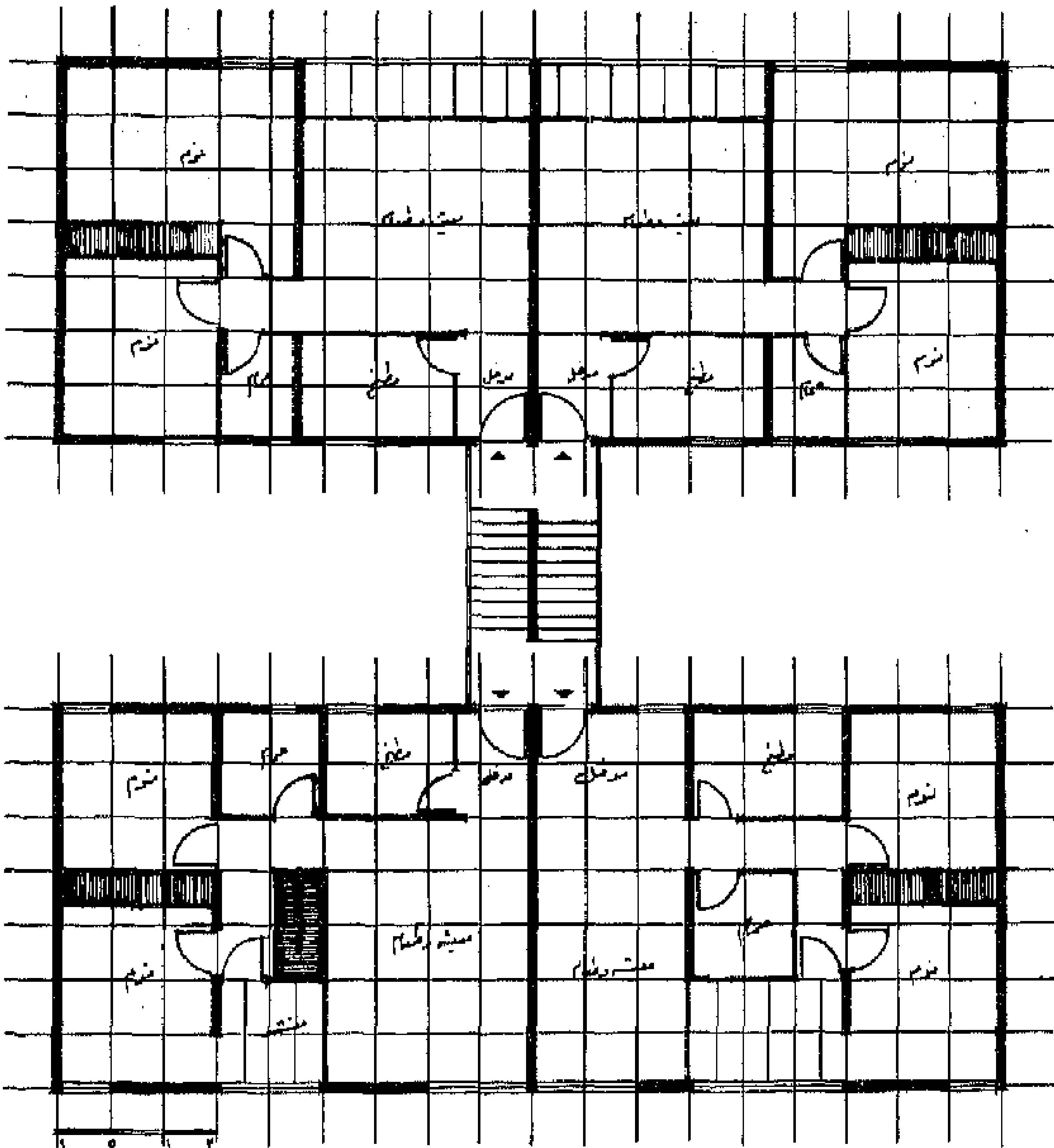


شكل ٤٤٧

شكل ٤٤٨

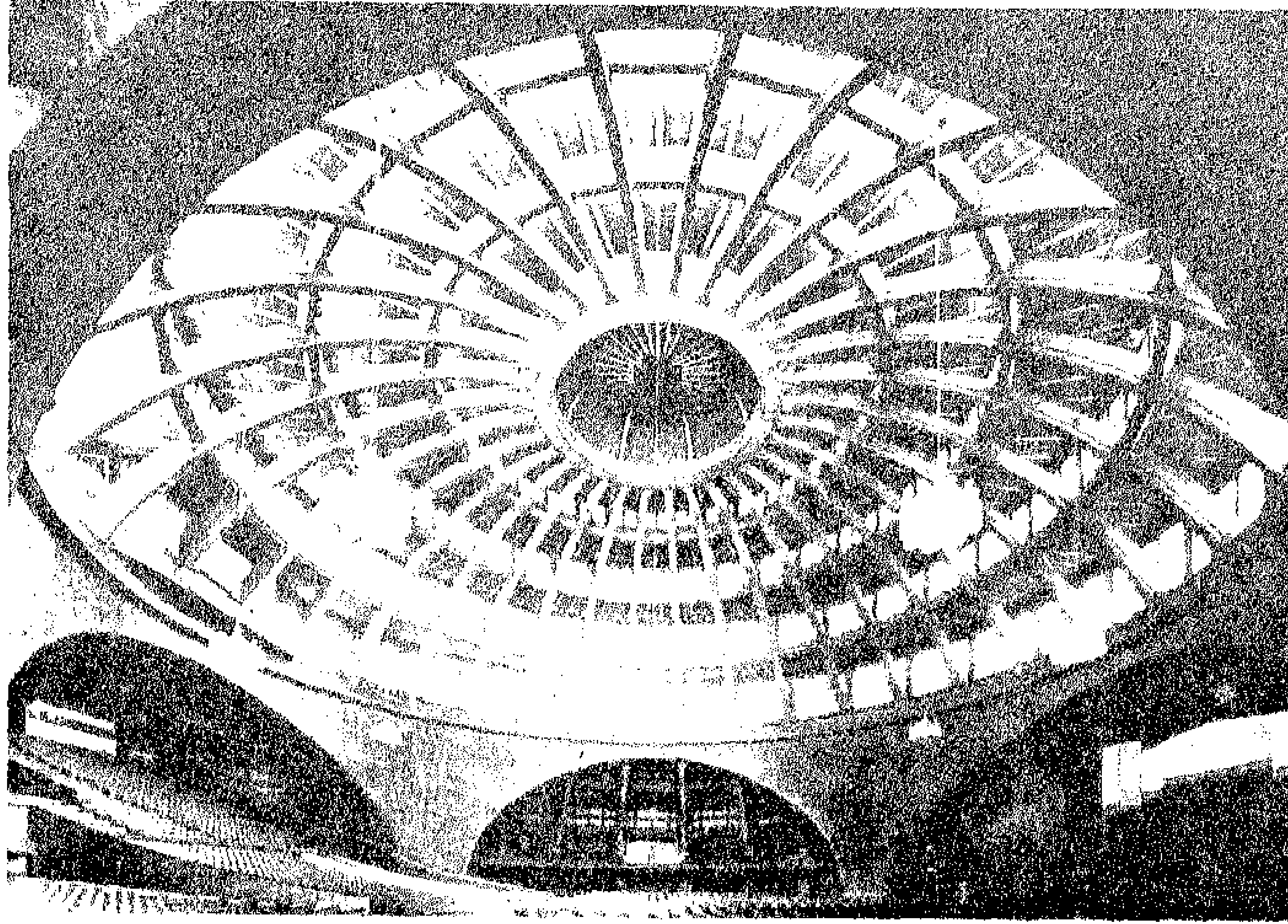


شكل ٤٤٩

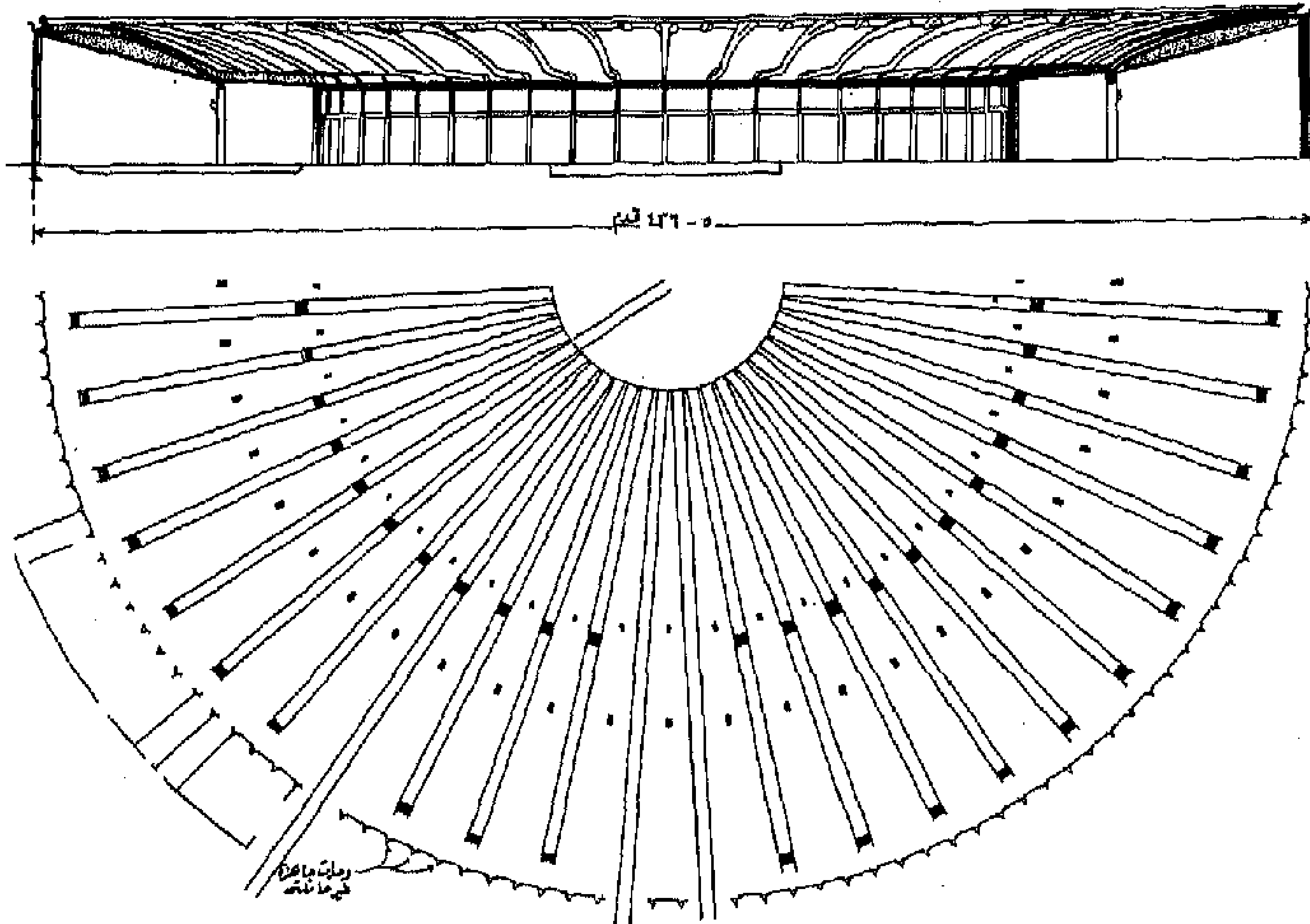


الإمكانيات المعمارية لسبق التجهيز الجزئى

(شكل ٤٤٨ ، ٤٤٩) اقتراحات لمجموعات سكنية بالجمهورية العربية المتحدة بحوائط حاملة من الطوب الخرسانى وأسقف من كمرات نصف جاهزة وبلاطات جاهزة (بحث الوحدات الجاهزة — معهد بحوث البناء) .



شكل ٤٥٠



شكل ٤٥١

أشكال دورانية بوحدات خطية

(شكل ٤٥٠) صالة العرض المئوية فى برسلو بألمانيا (المعمارى ماكس بيرج سنة ١٩١٢ - ١٩١٣)

(شكل ٤٥١) مصنع ماكينات فى أڤينيون بفرنسا بقطر خارجى ٤٣٦ قدما وحلقة شد خارجية وضغط داخلية.

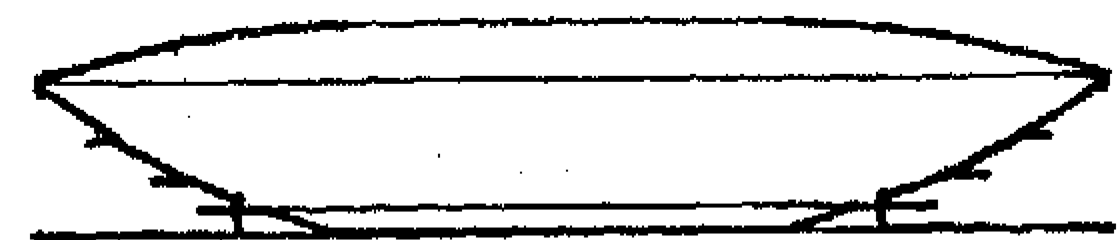
شكل ٤٥٤

شكل ٤٥٢

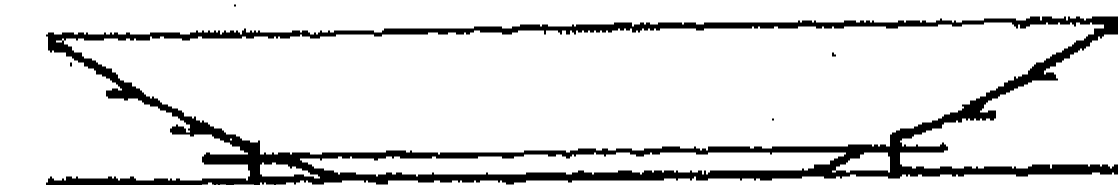
أشكال دورانية بوحدات خطية

(شكل ٤٥٢) مشروع إستاد بدون أعمدة — يسع ١٠٠٠٠٠ مقعد (المعماريين ريموند ورادو والإنشائيين ويد لنجر وسالڤادوري).
(شكل ٤٥٣) قطاع نصفي في المقاعد والكرات الدائرية.
(شكل ٤٥٤) مسقط للإستاد.
(شكل ٤٥٥) مراحل الإنشاء المختلفة.

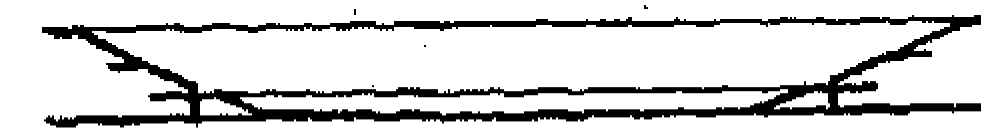
شكل ٤٥٥



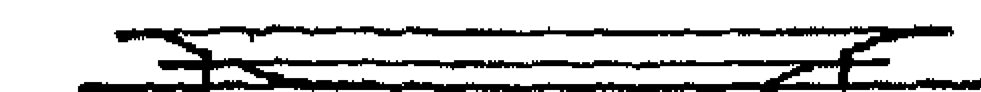
Total capacity 100,000 under roof



Total capacity 100,000

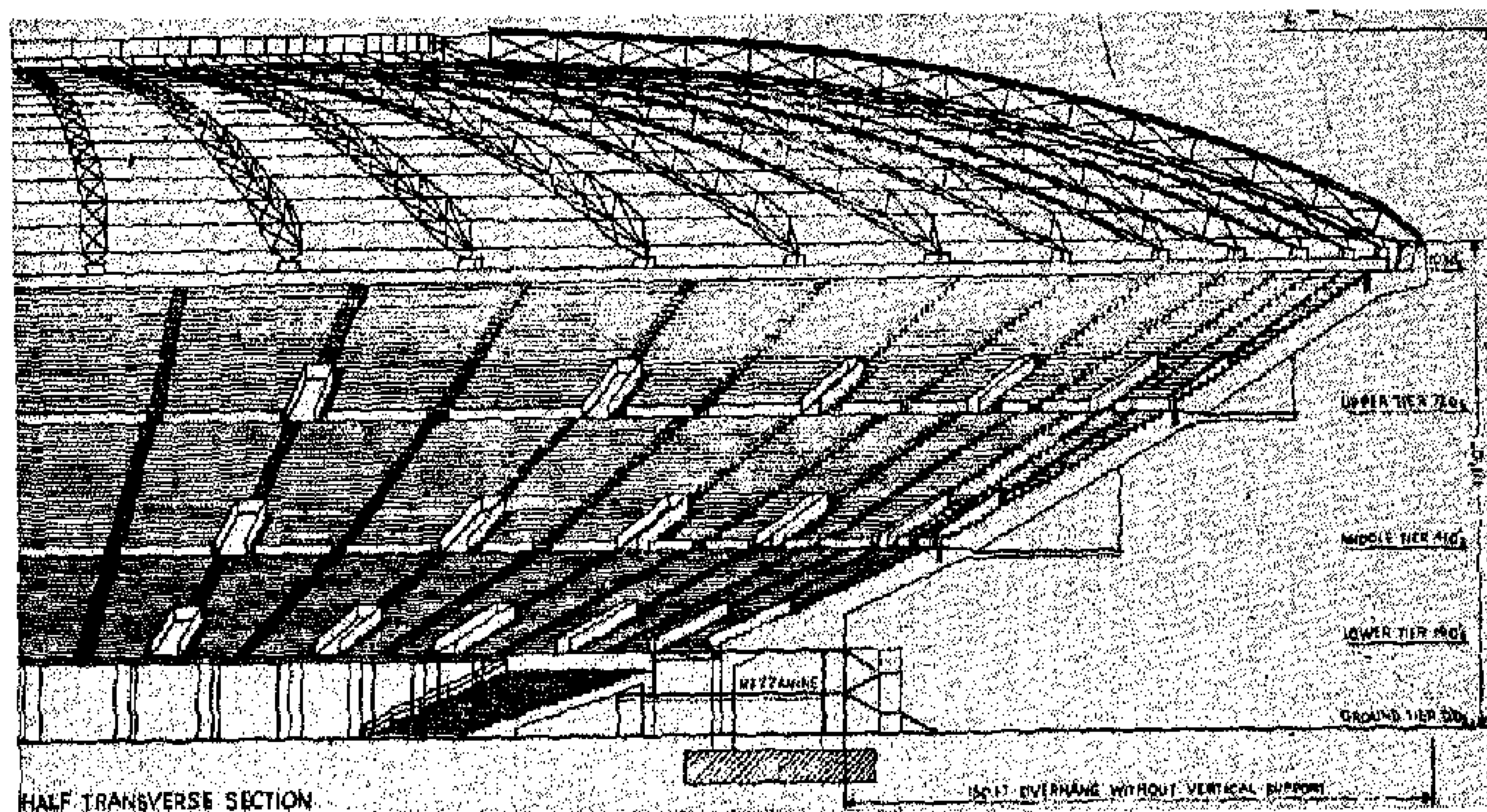


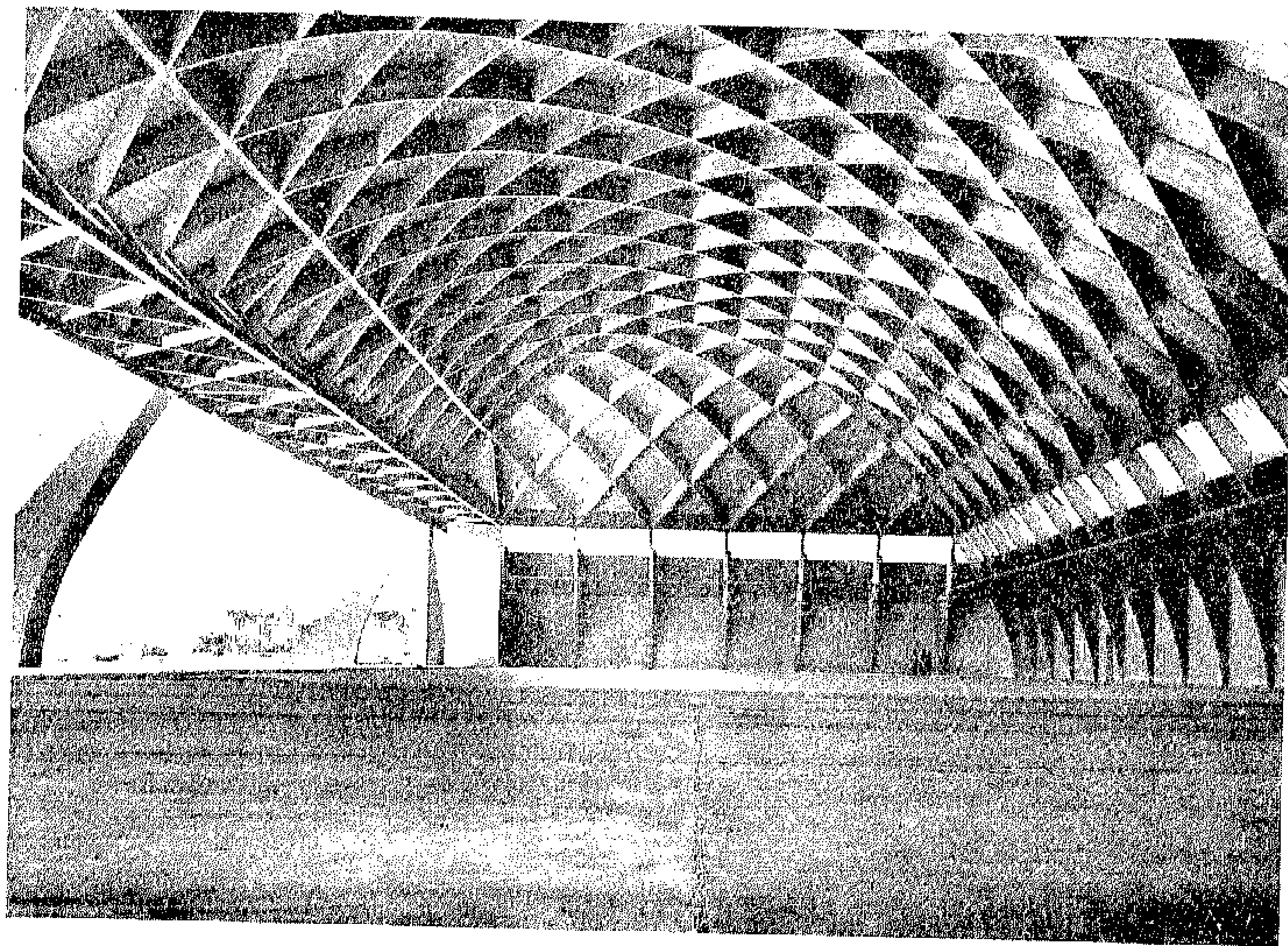
Total capacity 64,500



Total capacity 33,000

شكل ٤٥٣





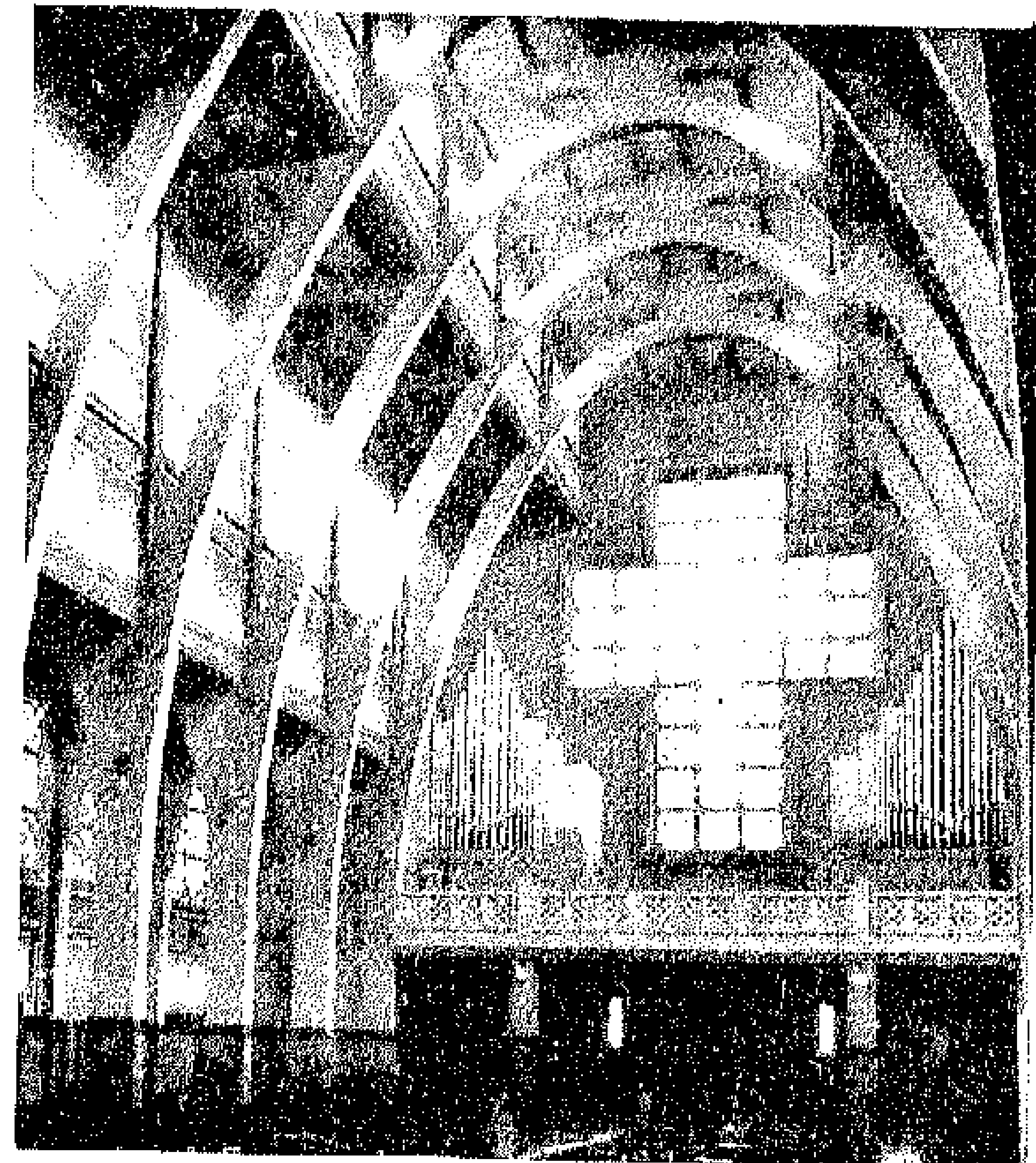
شكل ٤٥٦

وحدات خطية مفردة الأنحناء

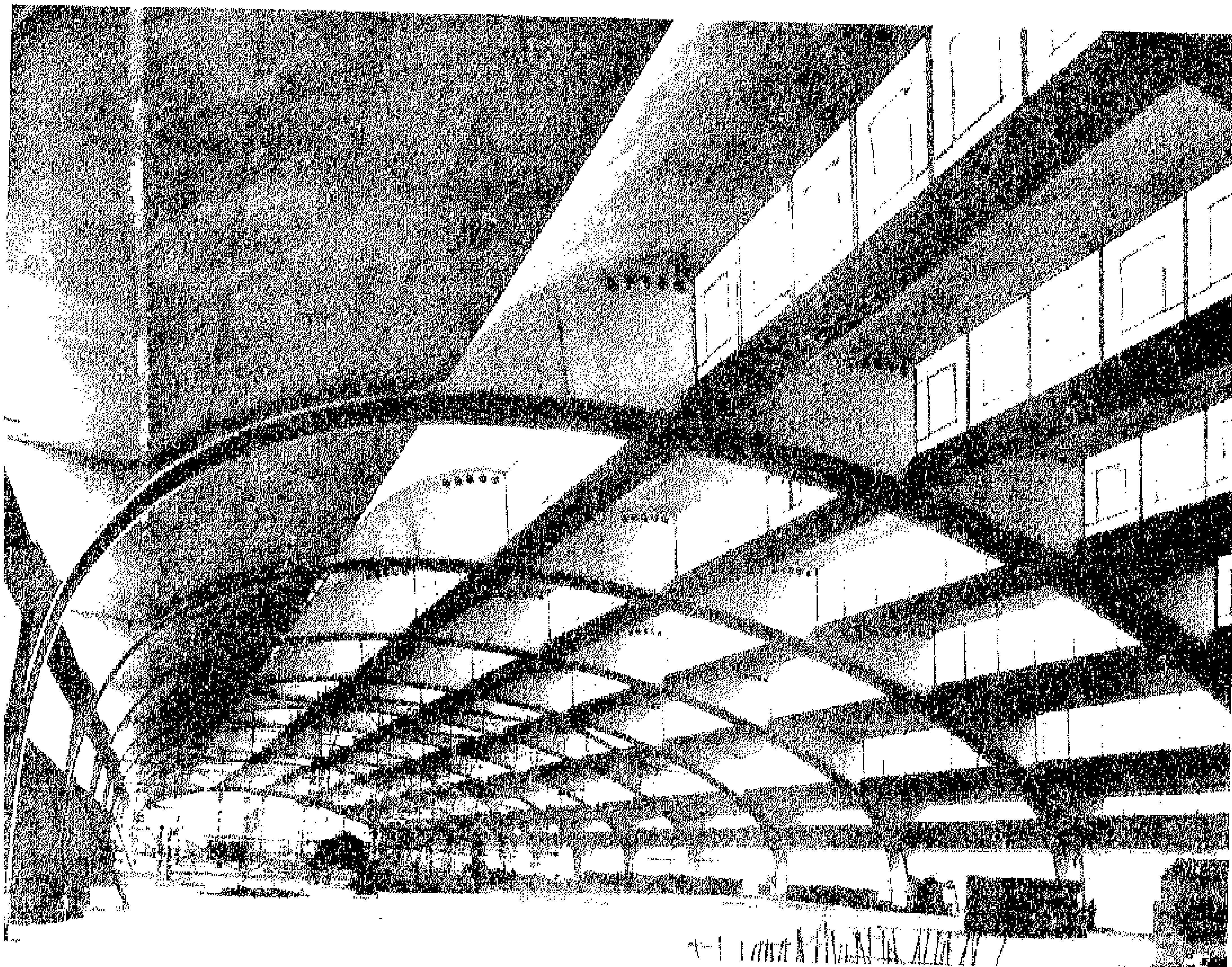
(شكل ٤٥٦) سقف لاميلا لحظيرة طائرات بالقرب من روما (الإنشائى بيير لويجى نيرفى).

(شكل ٤٥٧) كنيسة سانت جان بابتست فى موليبنيك ببروكسل ببلجيكا سنة ١٩٣٣.

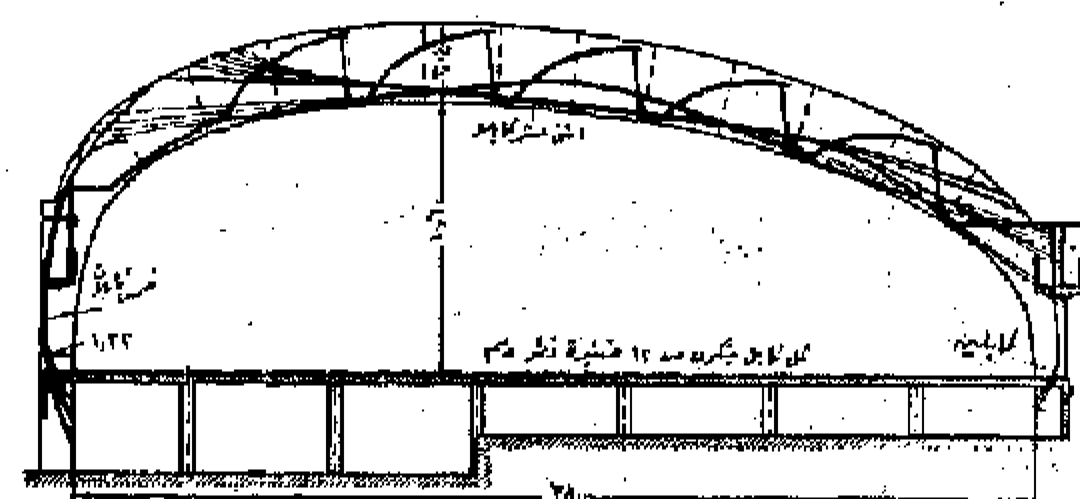
(شكل ٤٥٨) هياكل منحنية وقبوات للإضاءة العلوية فى صالة مطبعة دبلن بأيرلندا.

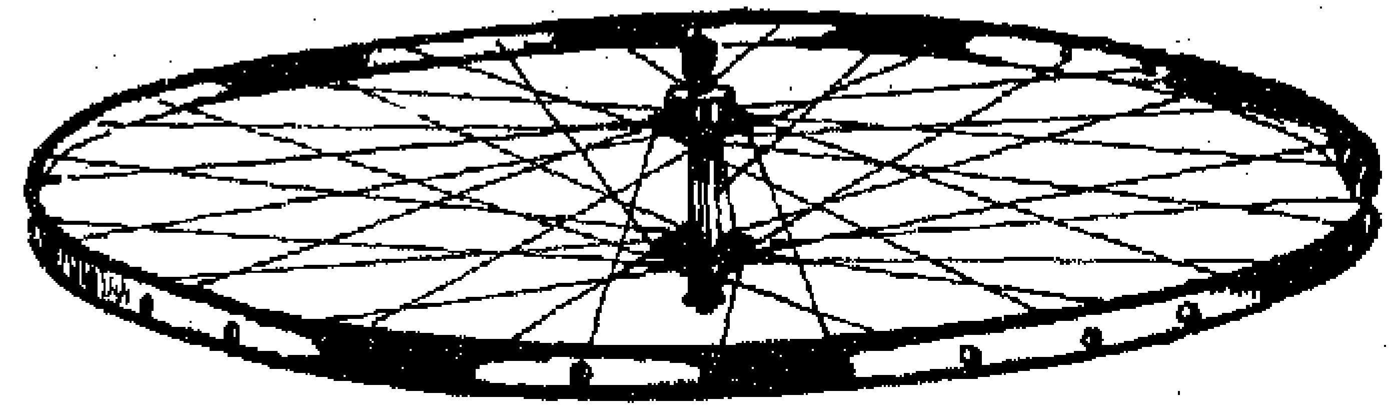


شكل ٤٥٧

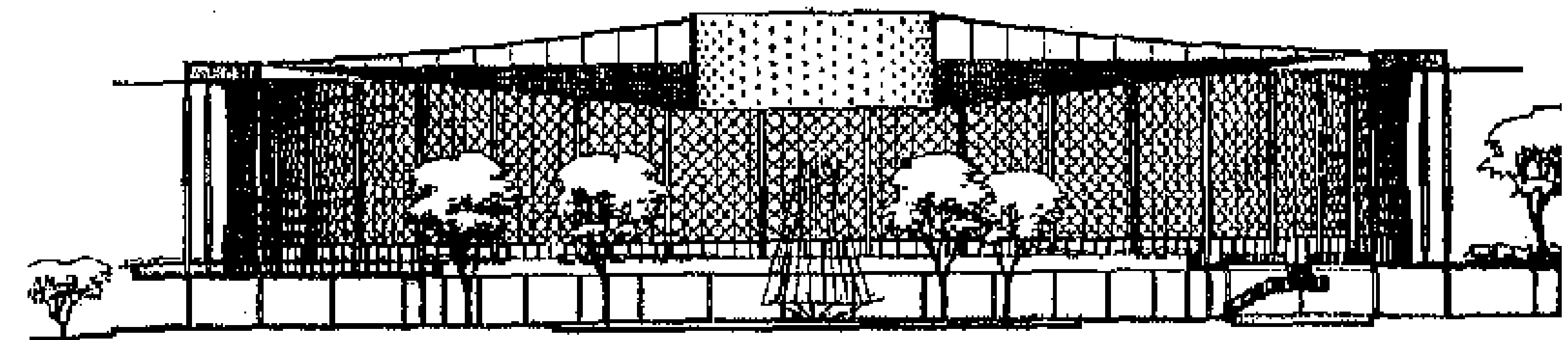


شكل ٤٥٨

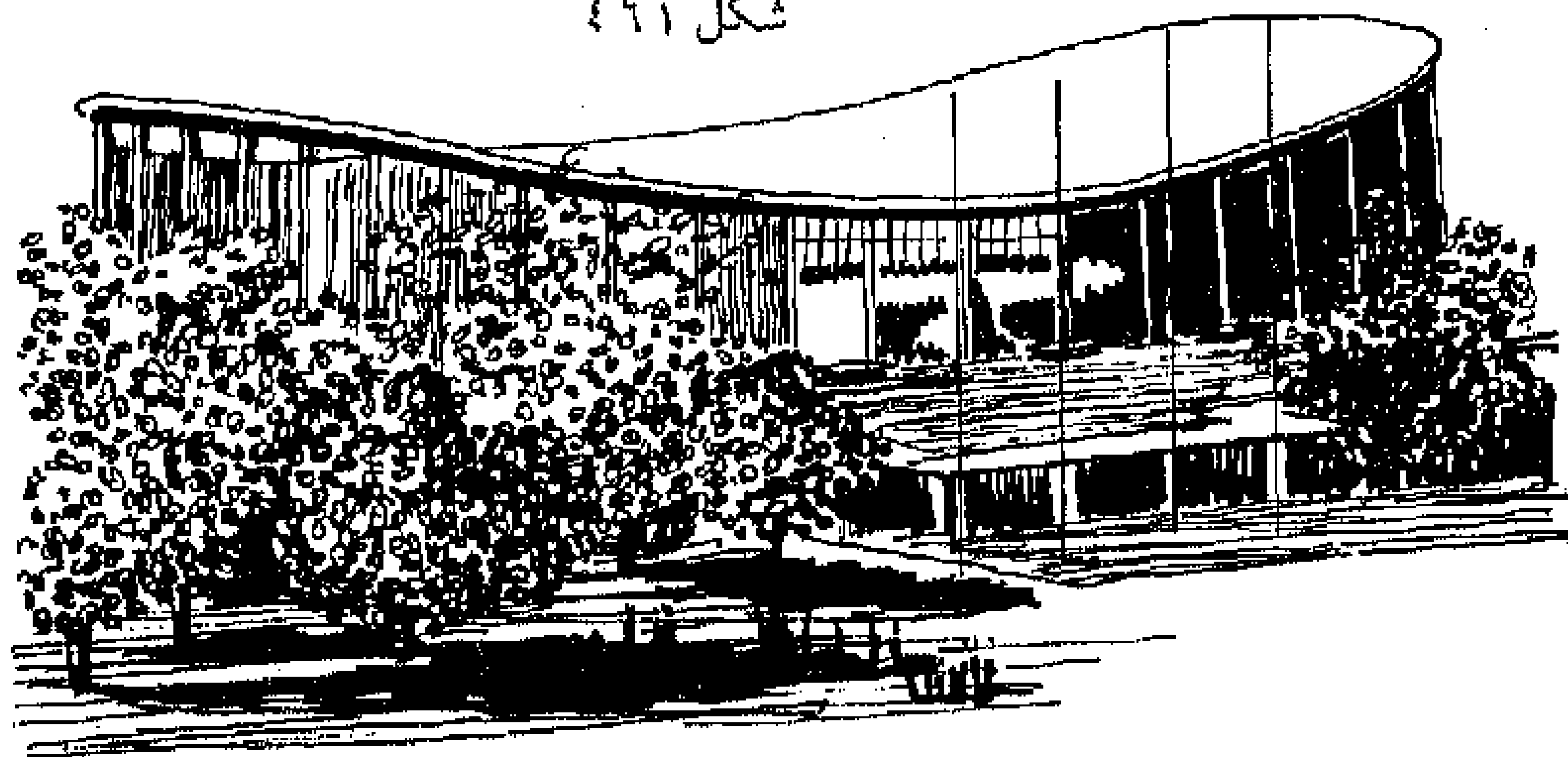




شكل ٤٥٩



شكل ٤٦٠



شكل ٤٦١

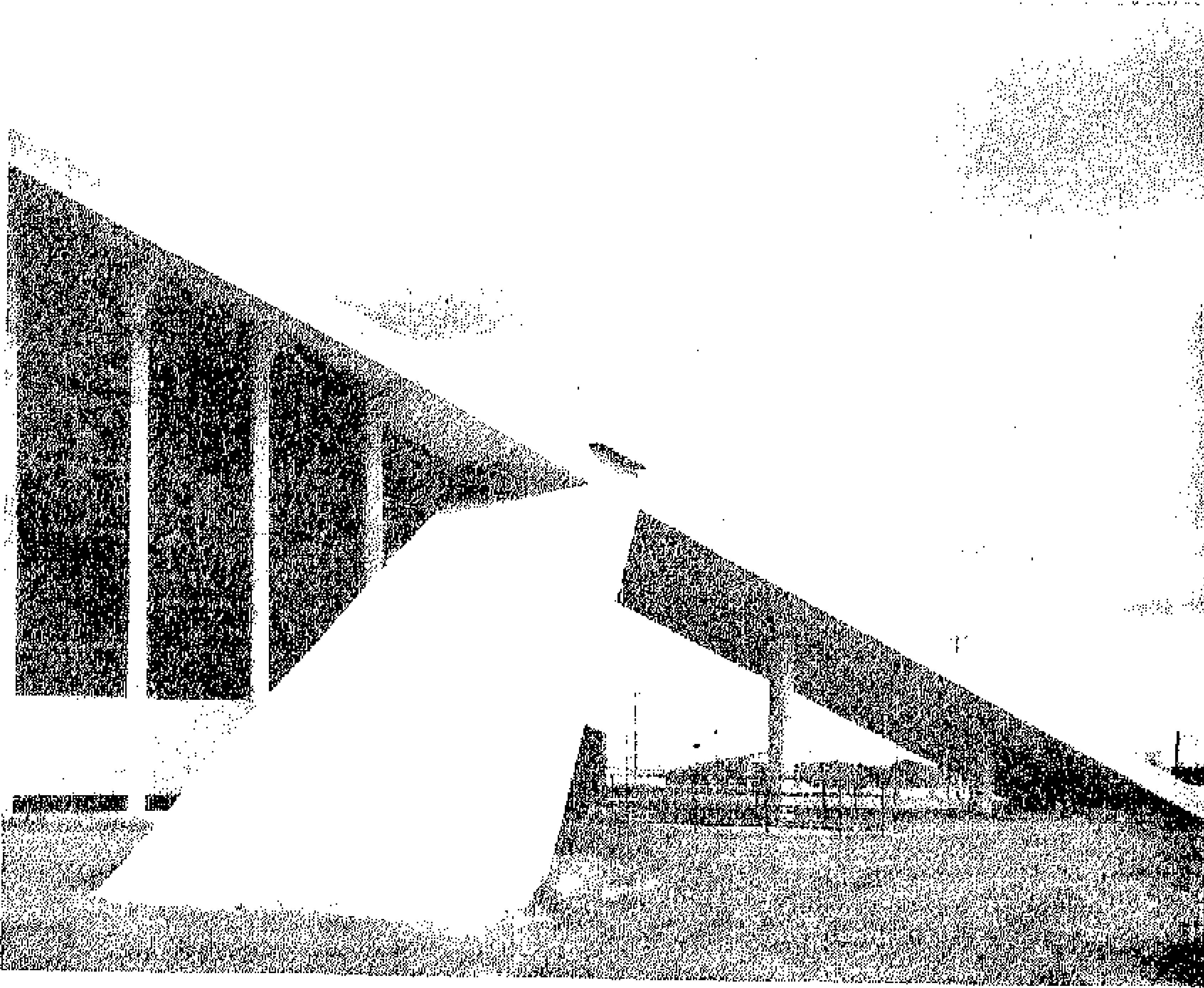
وحدات خطية كحلقات انضغاط لأسقف معلقة

(شكل ٤٥٩) الجناح الأمريكى بمعرض بروكسل لعام ١٩٦٠ (المهندس المعمارى إدوارد ستون)

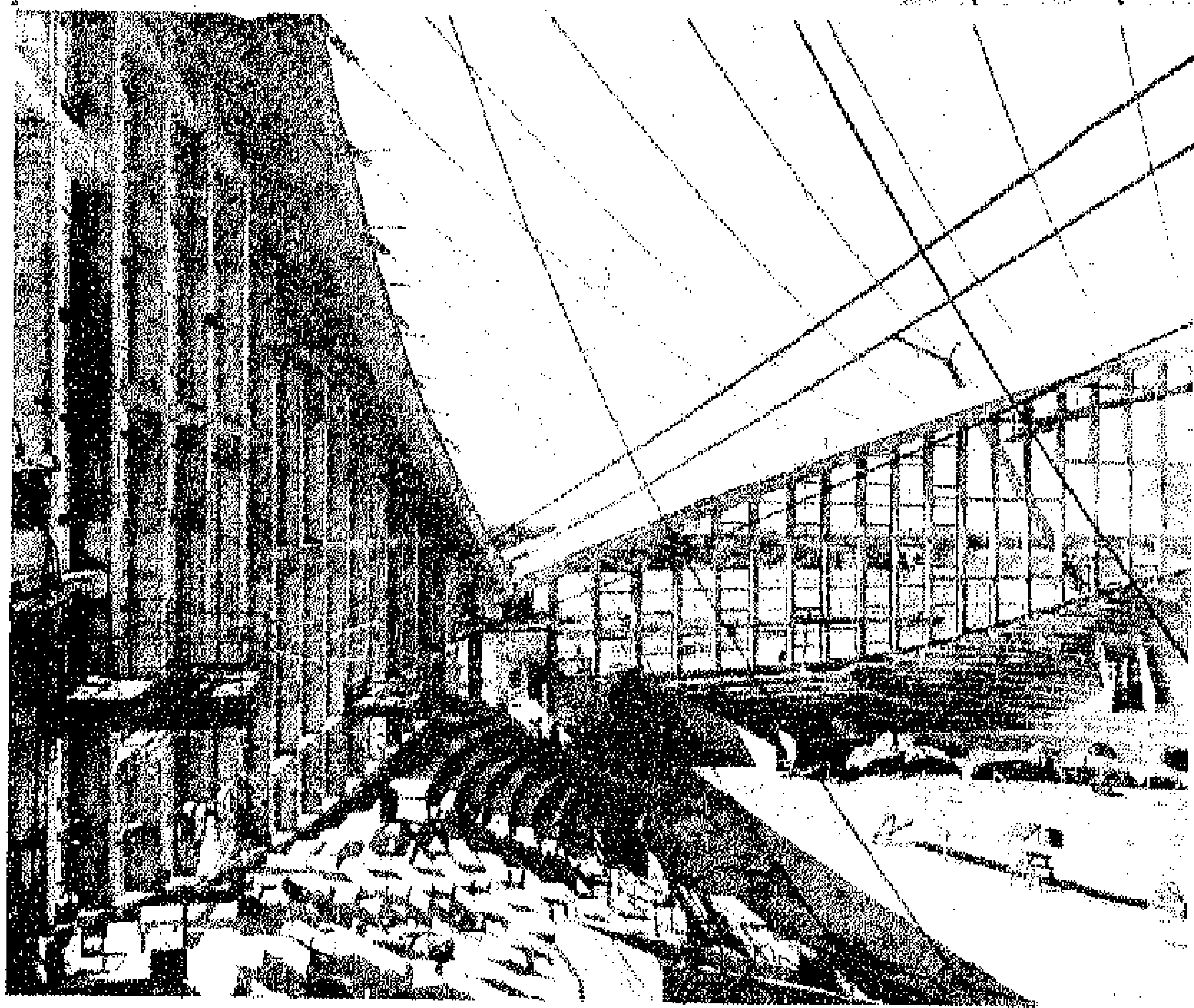
(شكل ٤٦٠) قطاع .

(شكل ٤٦١) صالة الاجتماعات بمدينة كارلسروة بألمانيا .

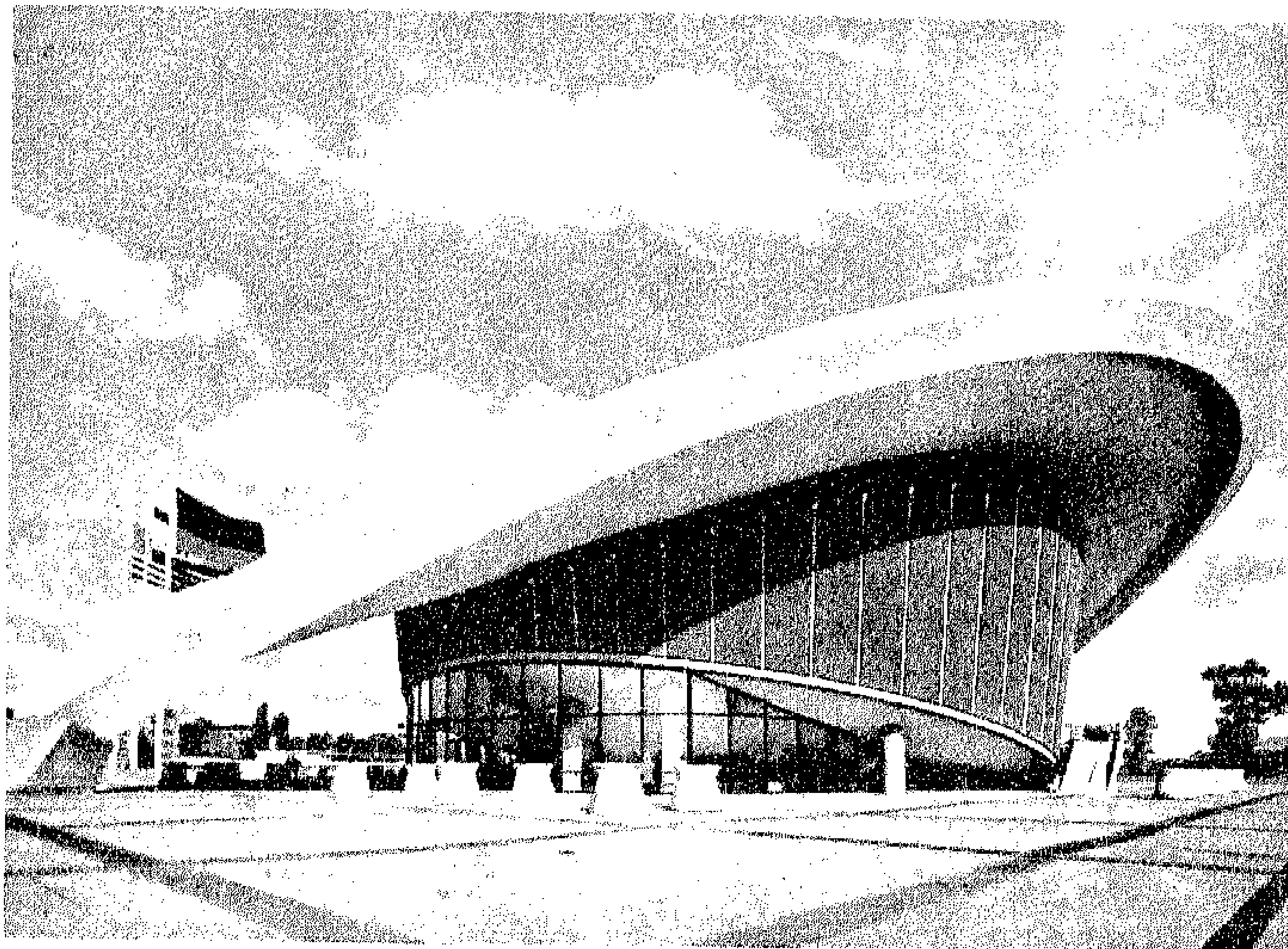
شكل ٤٦٢



شكل ٤٦٣

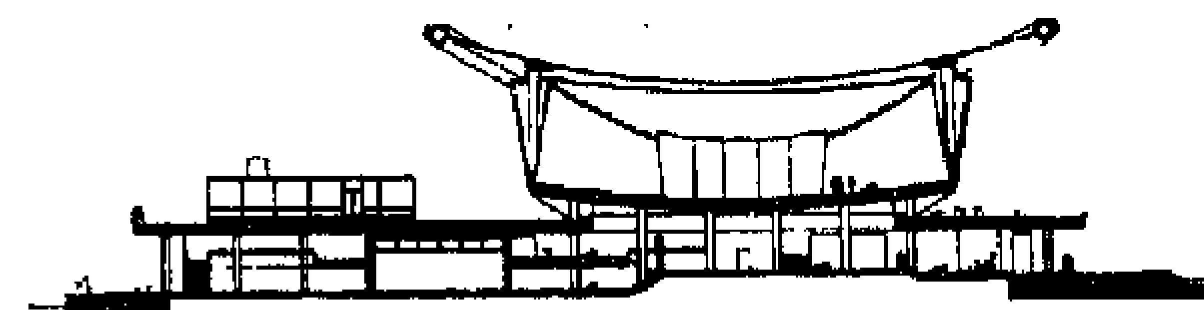


شكل ٤٦٤



وحدات خطية تتوازن مع أسقف معلقة على شكل قطع زائدى مكافىء

(شكل ٤٦٢) ساحة مدينة راليه بكارولينا الشمالية منظر داخلى .
(شكل ٤٦٣) منظر خارجى للساحة .
(شكل ٤٦٤) صالة اجتماعات الكونجرس ببرلين (المعمارى هيوج ستابنز) والإنشائى فرد سيفرد .
(شكل ٤٦٥) قطاع بالصالة .



شكل ٤٦٥



وحدات خطية حاملة لأسقف معلقة

(شكل ٤٦٦) ملعب الهوكى بجامعة ييل – نيوهافن بولاية كنتكت (المعمارى ايروسارينن سنة ١٩٥٨).

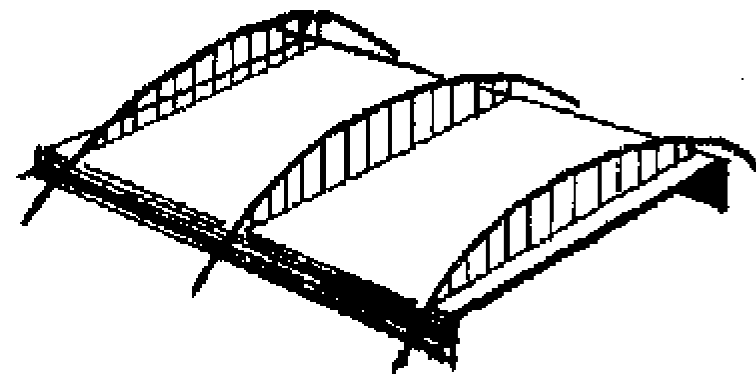
(شكل ٤٦٧) تحميل أسقف أفقية على عقود رأسية على شكل قطع مكافئ.

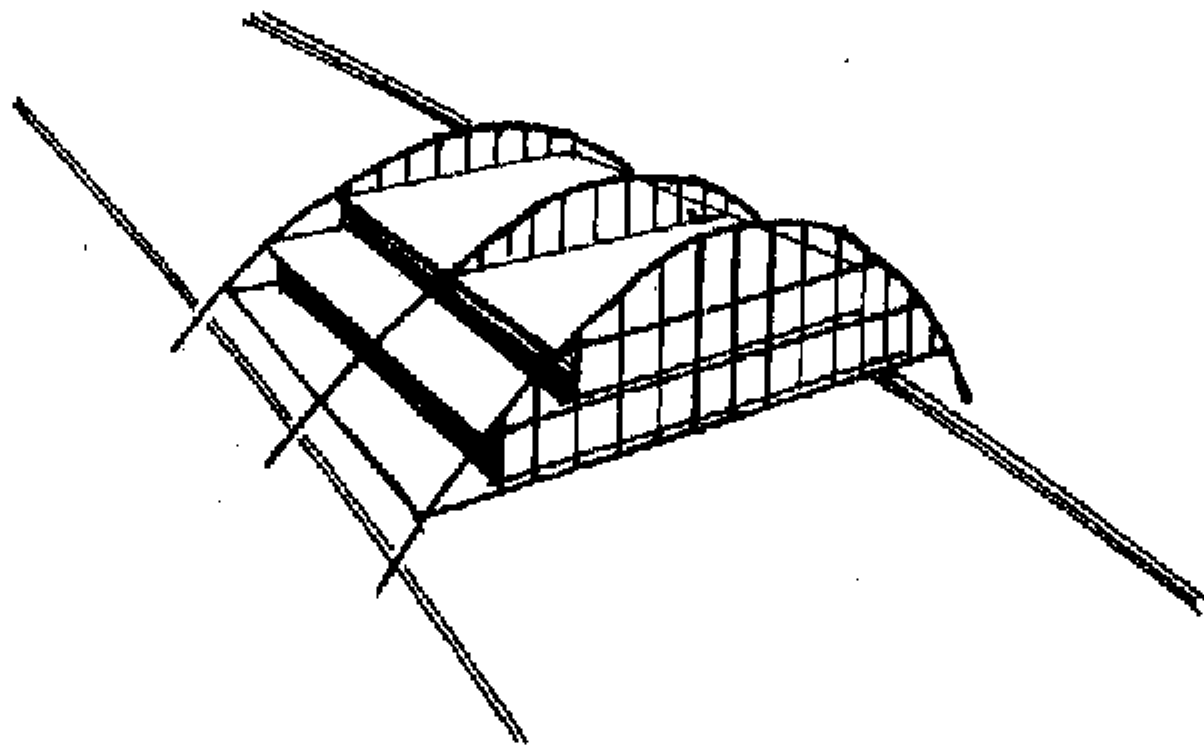
(شكل ٤٦٨) تحميل أسقف أفقية على عقود مائلة متزنة.

(شكل ٤٦٩) احتمالات تحميل أسقف متعددة من عقود مكافئة.

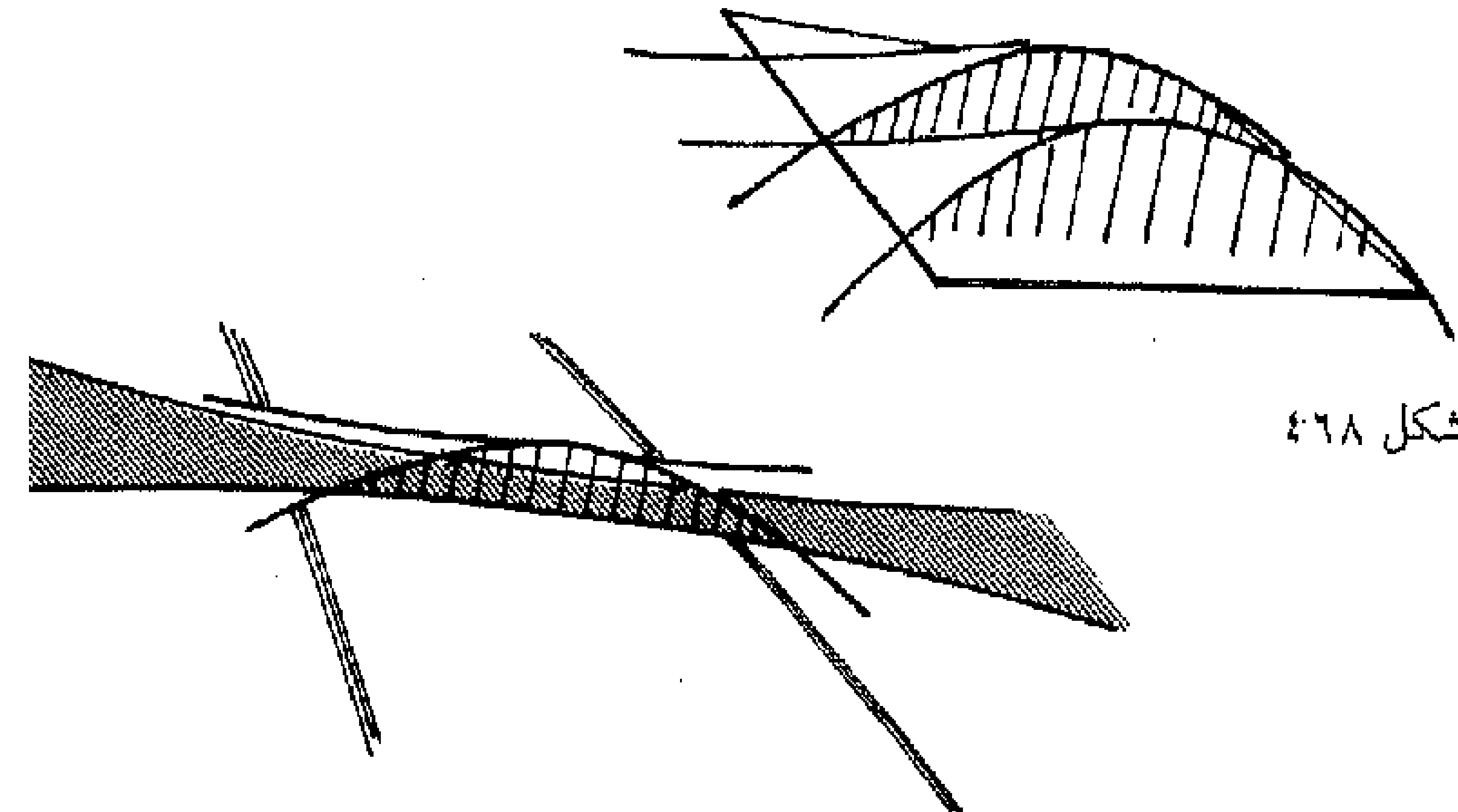


شكل ٤٦٦

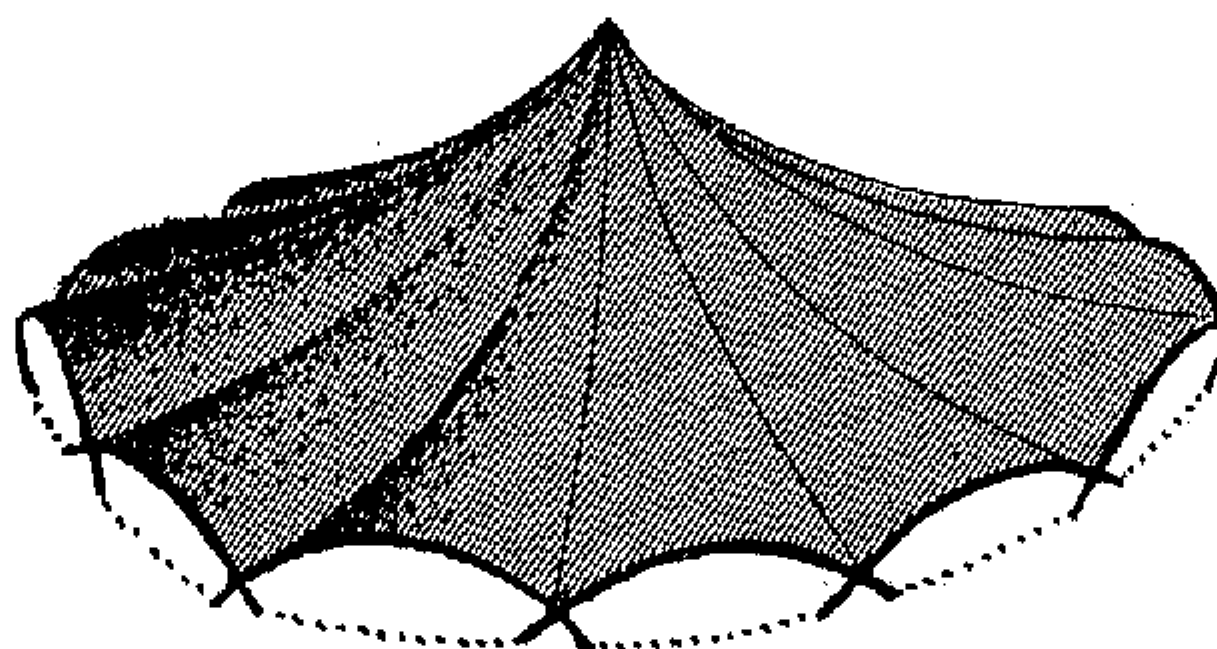


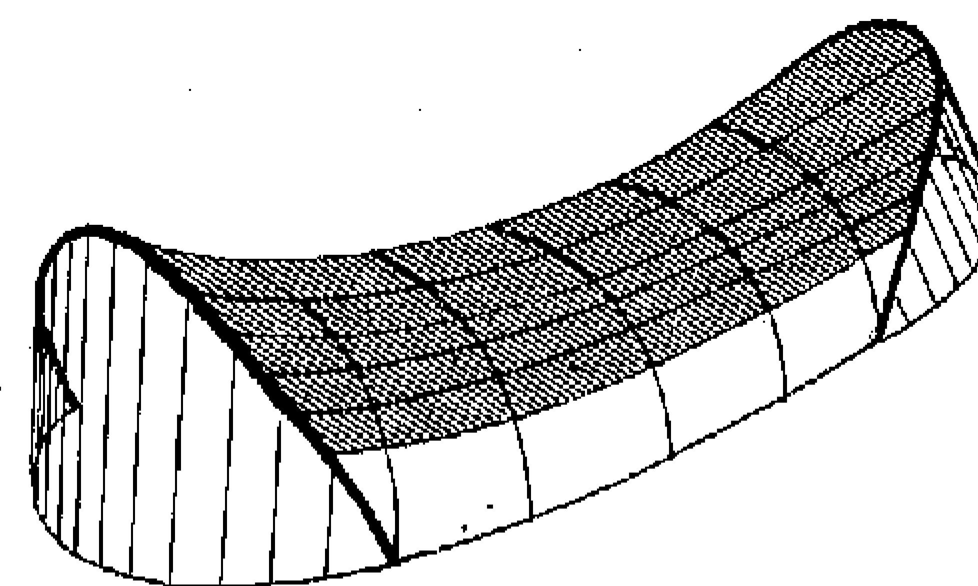


شكل ٤٦٧

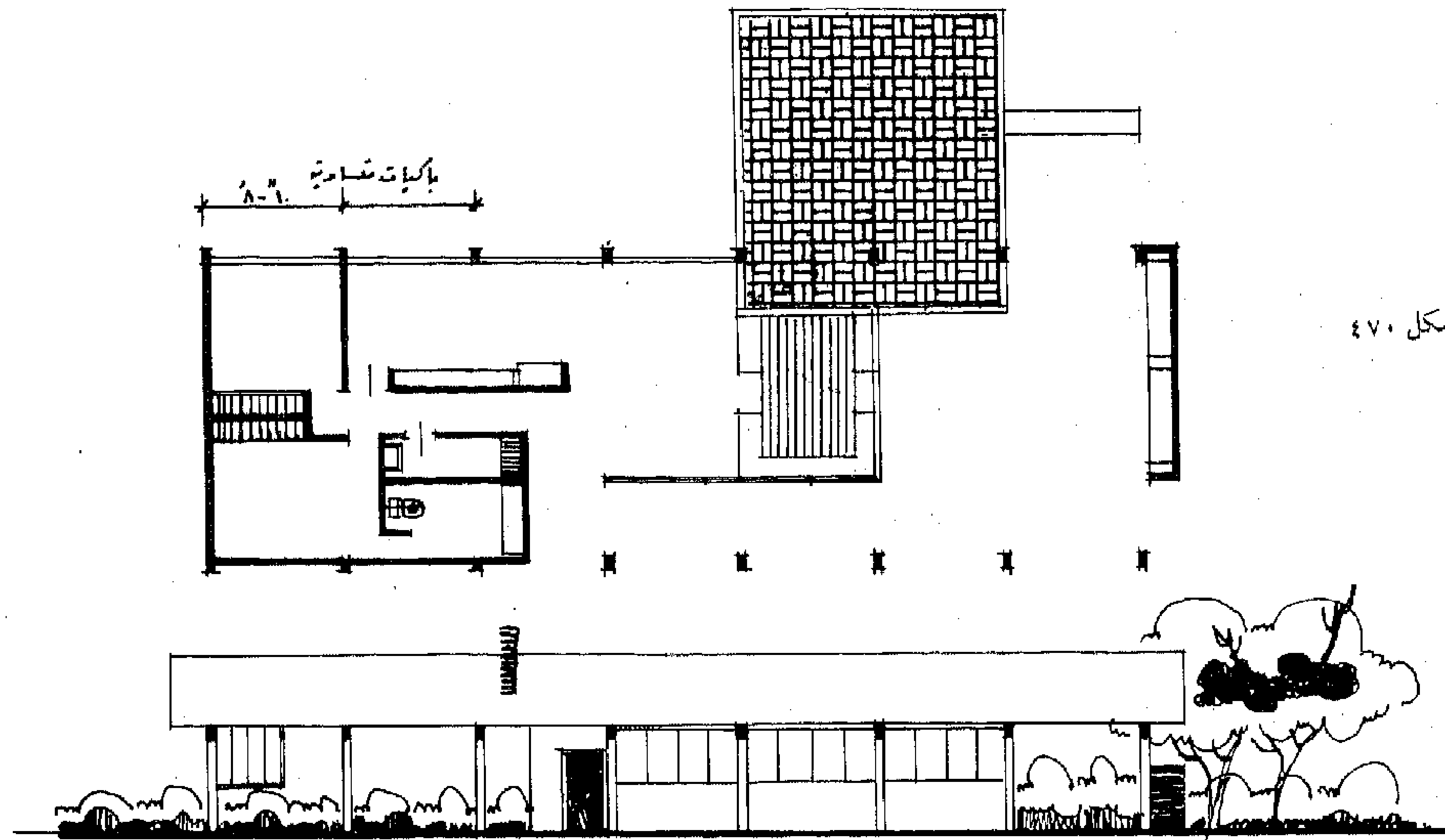


شكل ٤٦٨





شكل ٤٦٩


شكل ٤٧٠

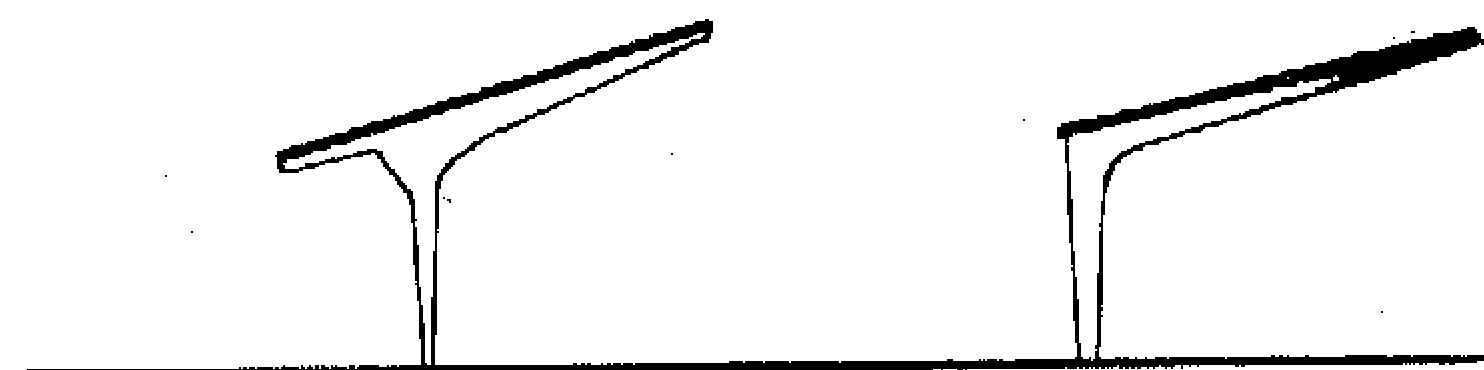
هياكل جاهزة ثلاثية المفصلات

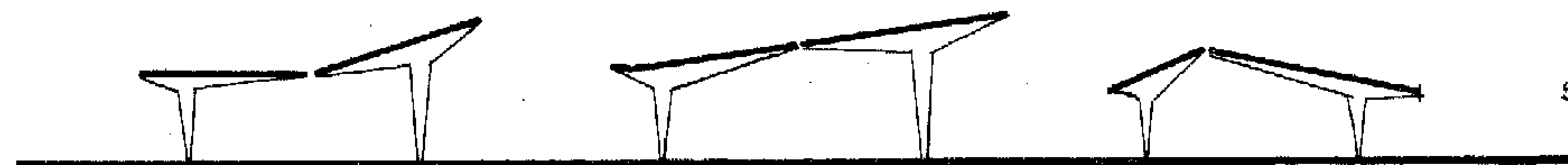
(شكل ٤٧٠) هياكل جاهزة استعملت فى منزل تجريبى فى نوكسڤيل فى تنسى سنة ١٩٥٤ .

(شكل ٤٧١) هياكل جاهزة من إنجلترا (الإنشائى جلوڤر وشركاه) .

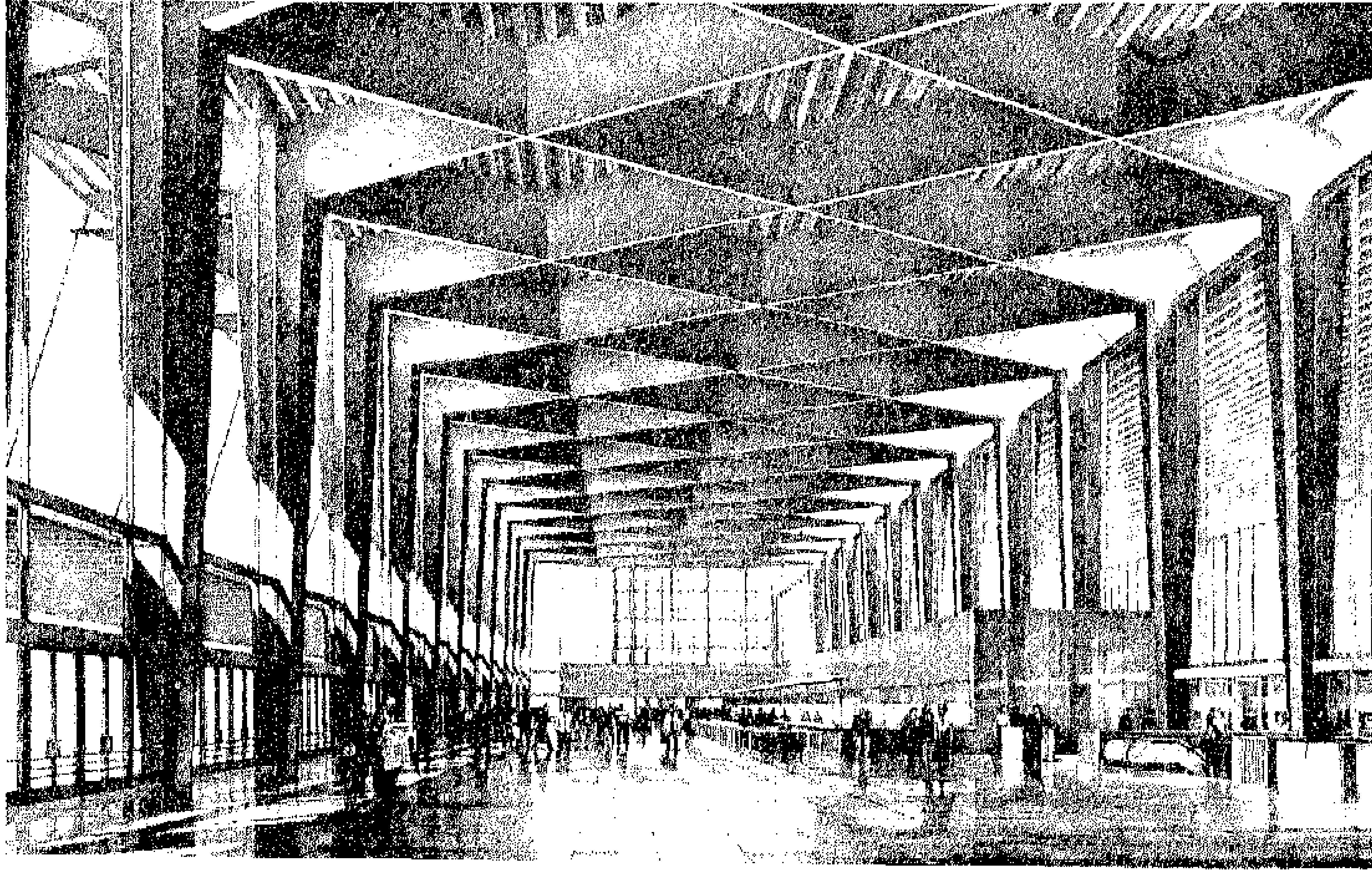
(شكل ٤٧٢) هياكل جاهزة ظهرت فى الولايات المتحدة .

(شكل ٤٧٣) فصل الحوائط الخارجية عن الهياكل الجاهزة .

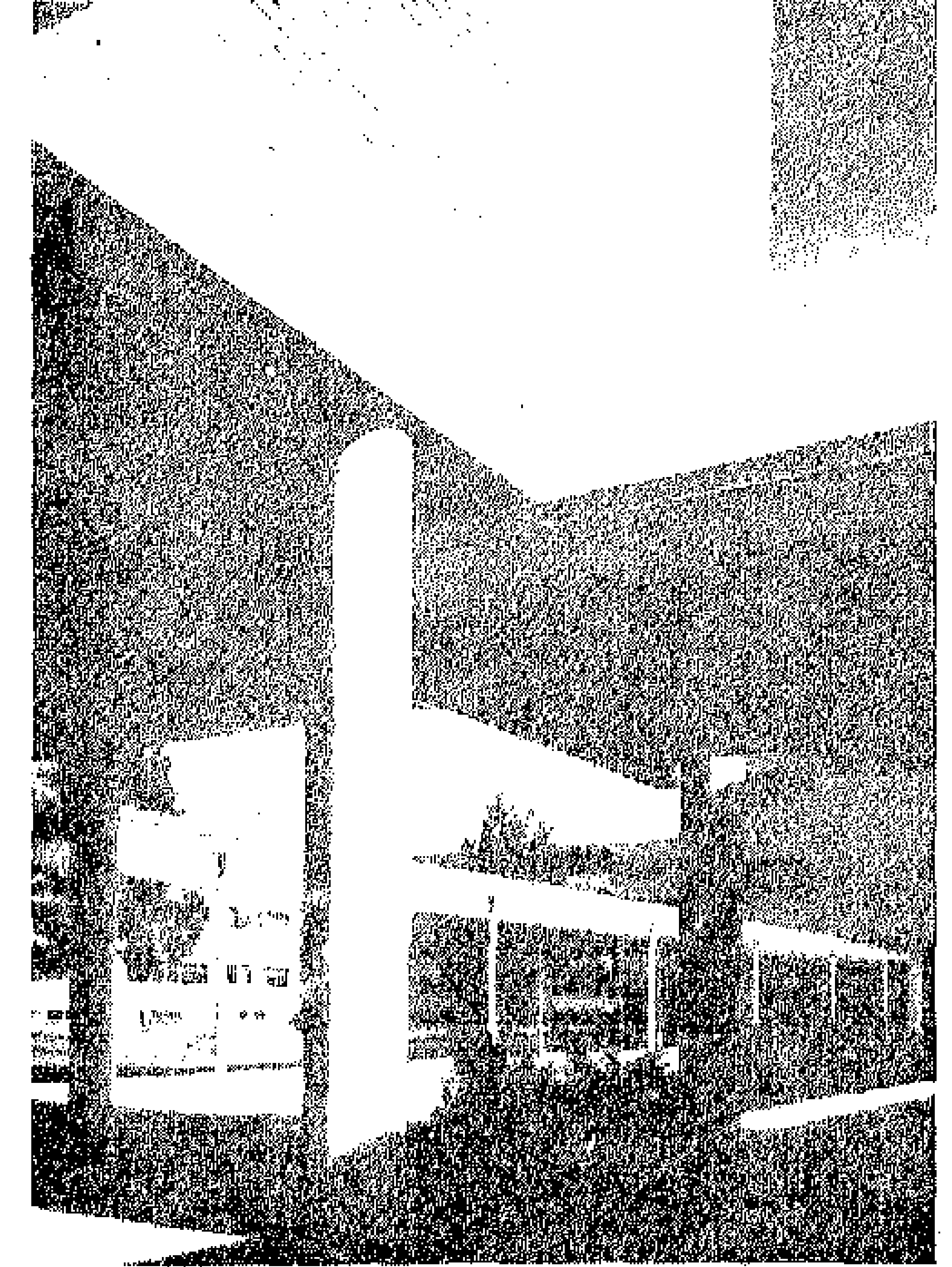

شكل ٤٧١


شكل ٤٧٢


شكل ٤٧٣



شكل ٤٧٥

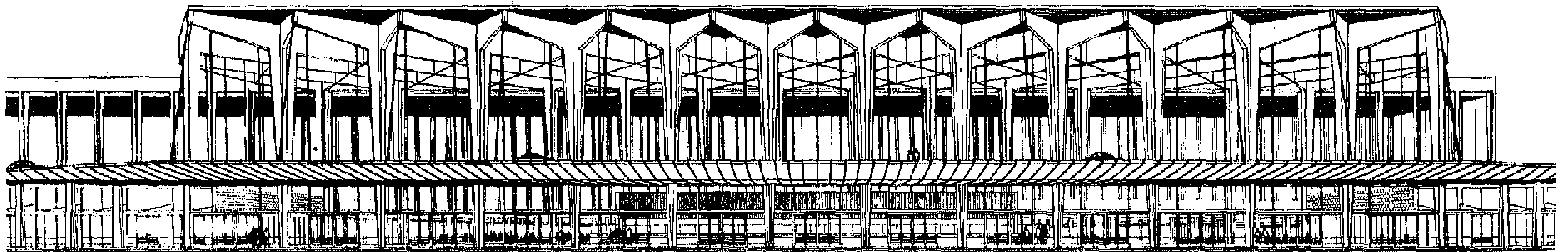


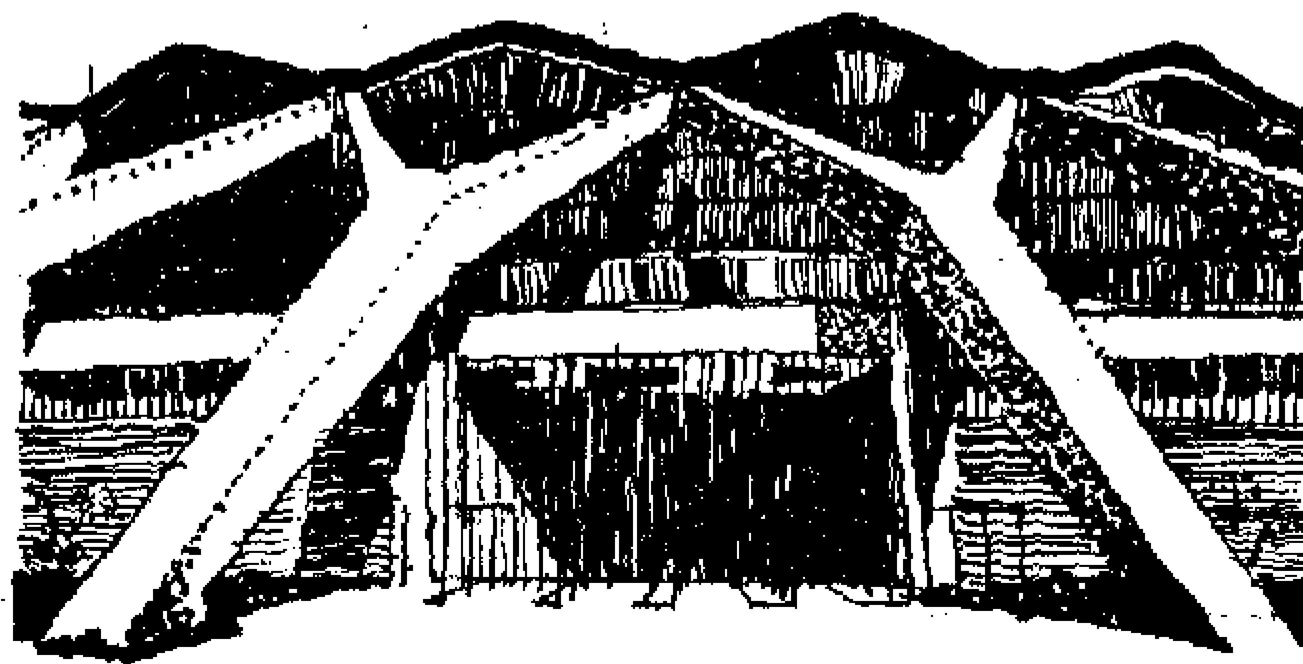
شكل ٤٧٤

المرونة فى تشكيل الأعمدة الخرسانية

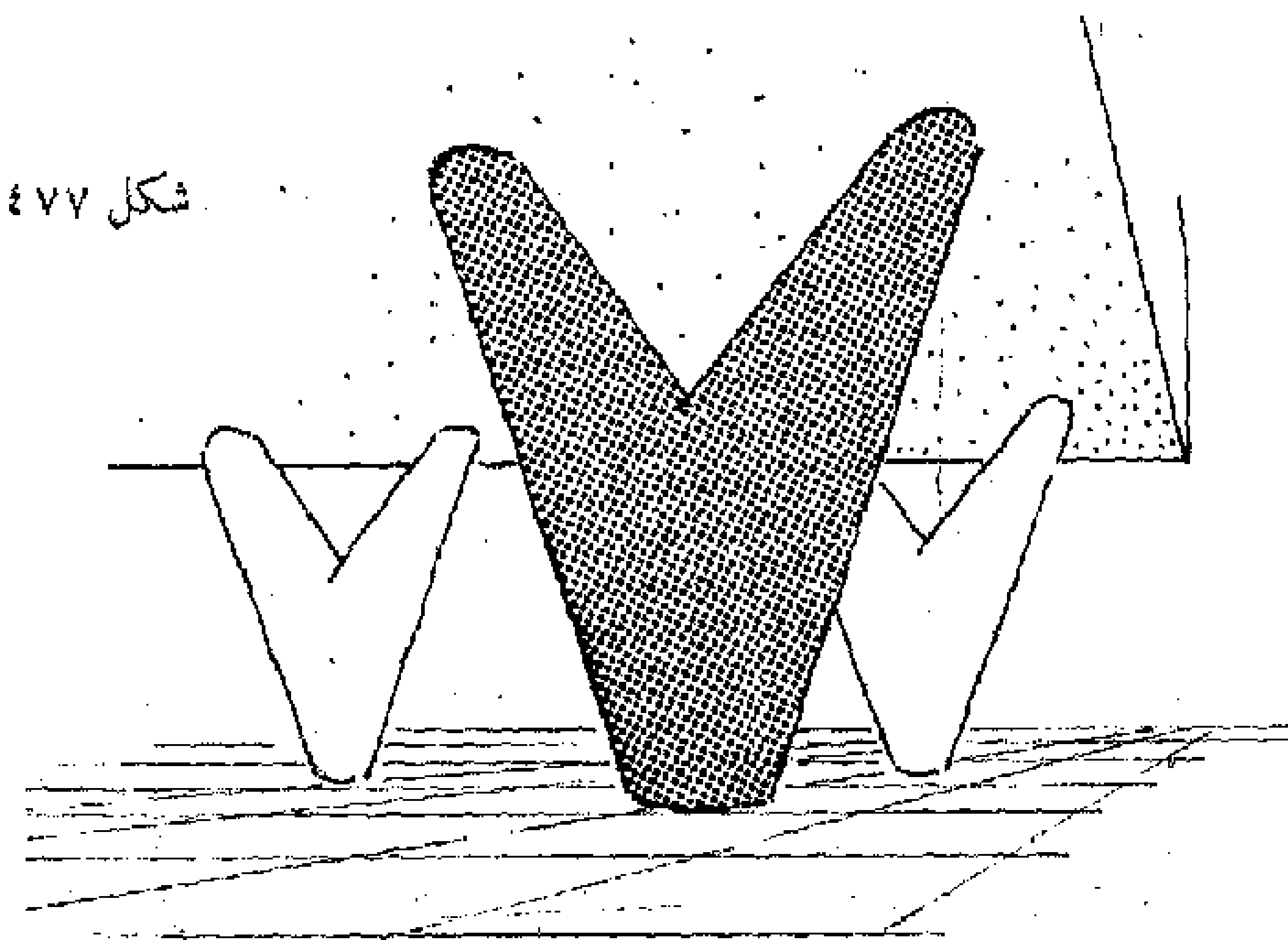
(شكل ٤٧٤) أعمدة أسطوانية فى مركز الدراسات العليا بجامعة هارفارد . (مكتب المعماريين المتعاونين ١٩٤٩ — ١٩٥٠) .
(شكل ٤٧٥) مشروع نيرفى لمحطة السكك الحديدية الرئيسية بمدينة نابلى سنة ١٩٥٤ — منظور داخلى .
(شكل ٤٧٦) منظور خارجى لمحطة نابلى .

شكل ٤٧٦

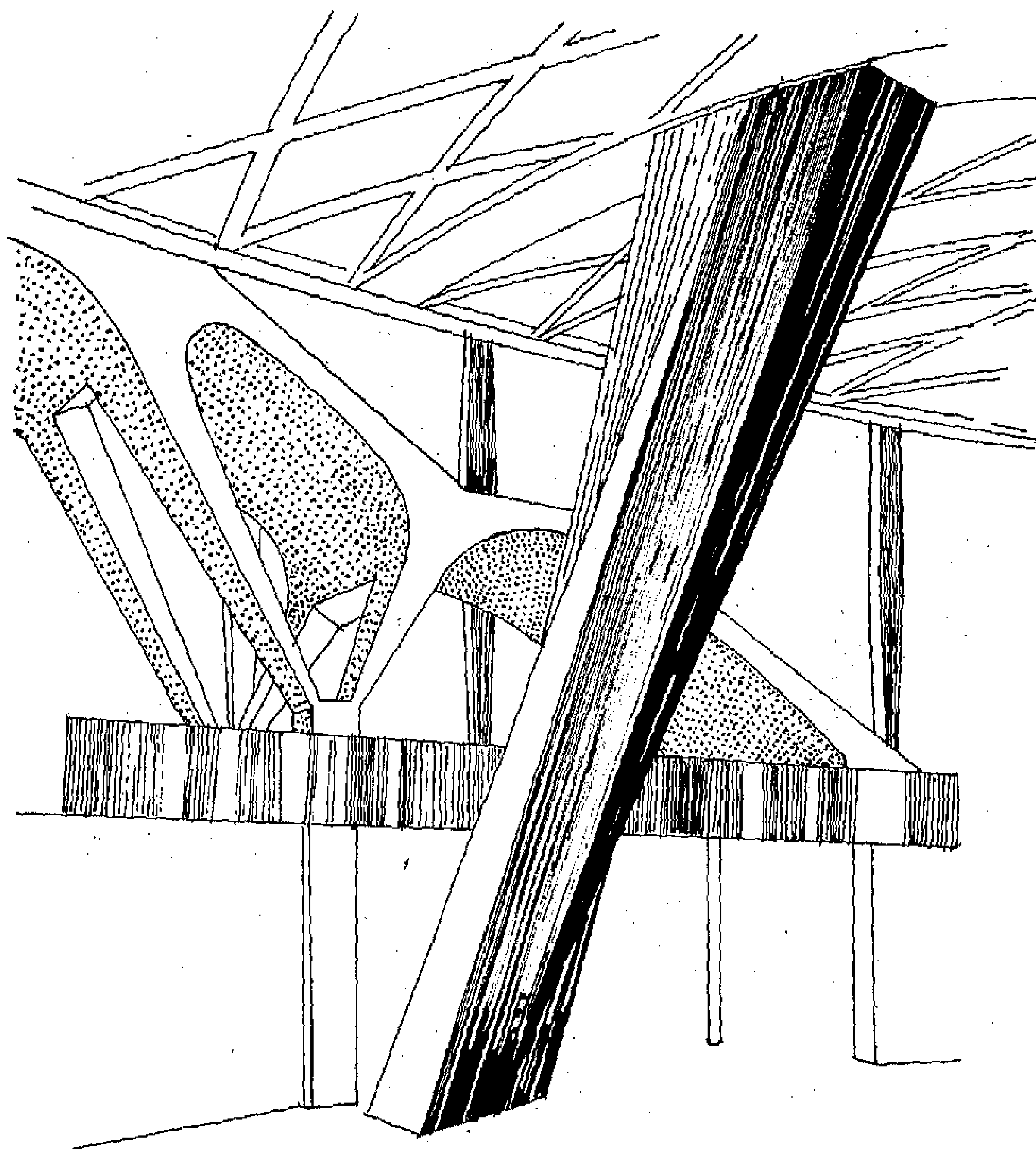




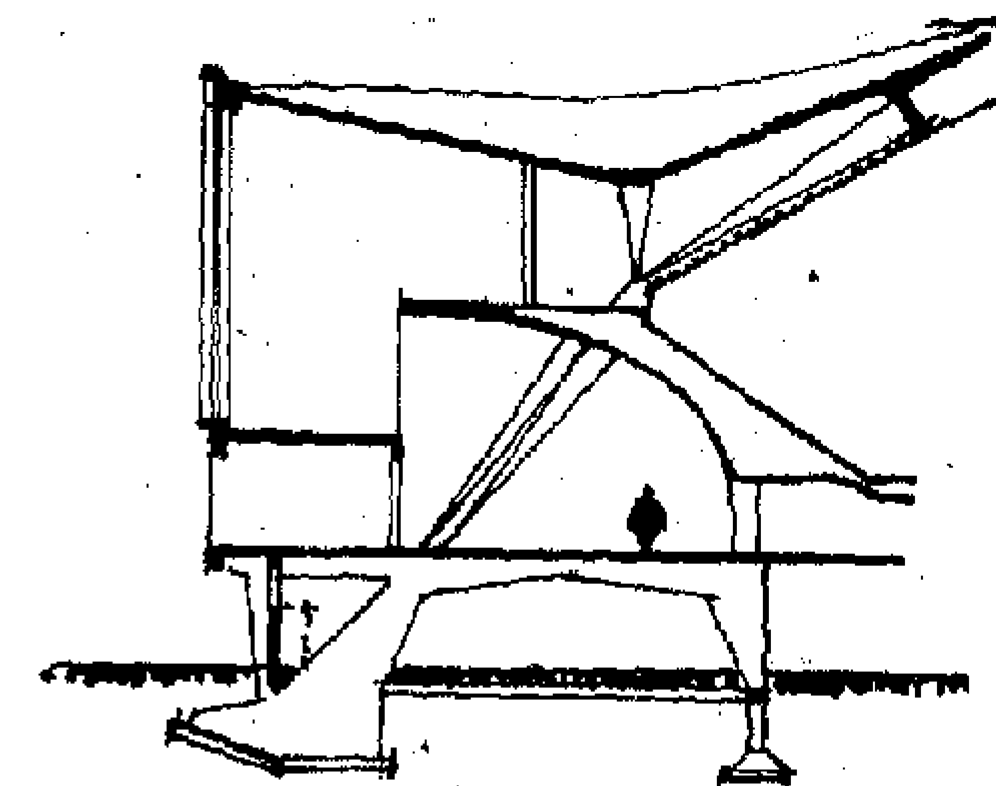
شکل ۴۷۸ آ

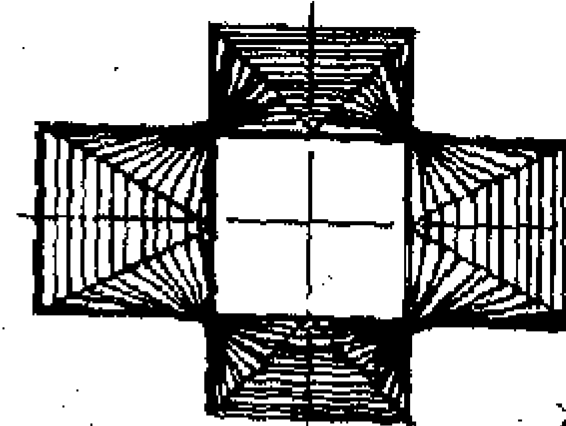


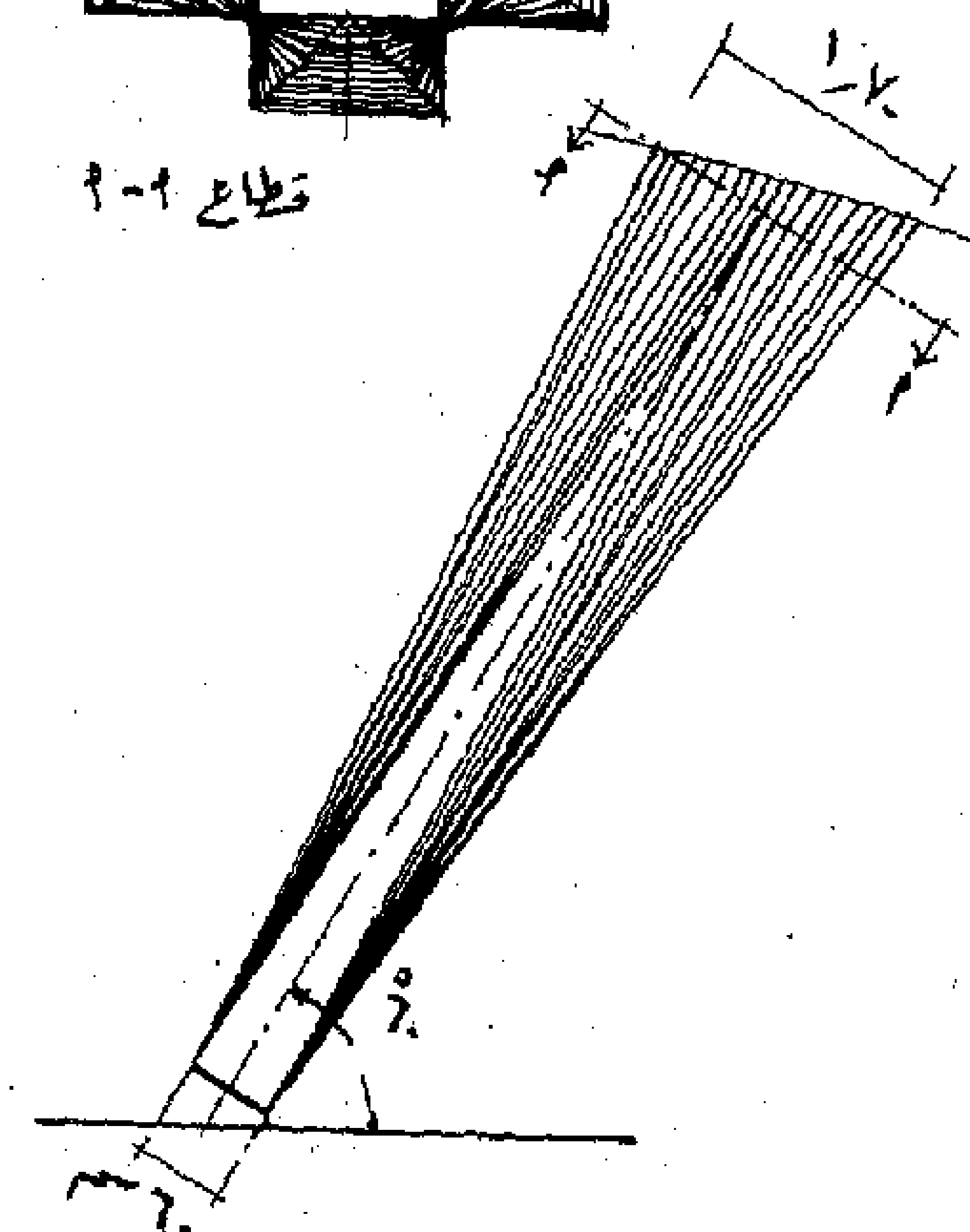
شکل ۴۷۷



شکل ۴۷۸ ب





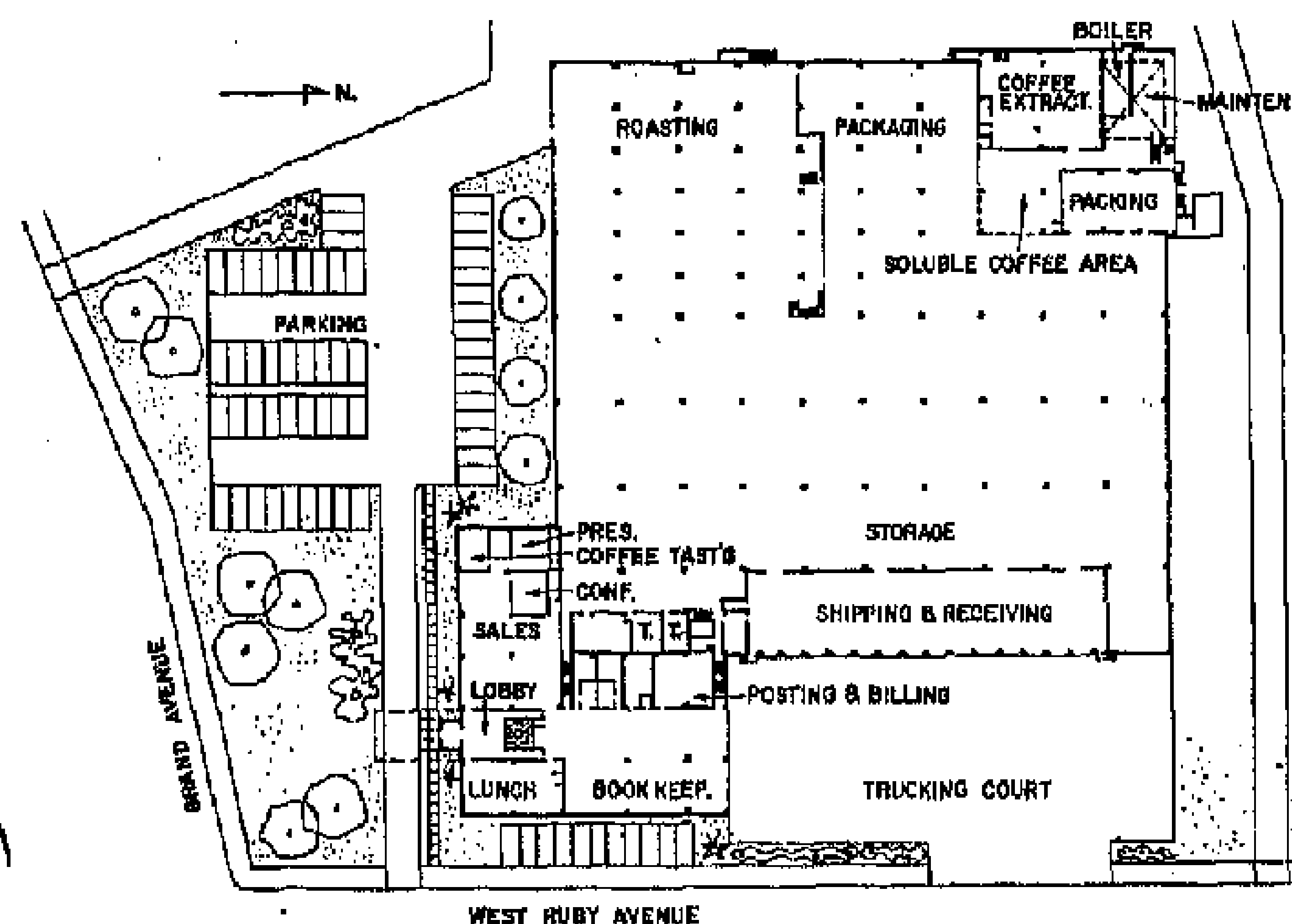


شكل ٤٧٩

وحدات خطية فى إنشاءات بالعمود والعتب

(شكل ٤٧٩) الوحدات الإنشائية لمصنع سافارين بتيوجرسى
(شكل ٤٨٠) مسقط أفقى للمصنع ، بالاسيدز بارك .

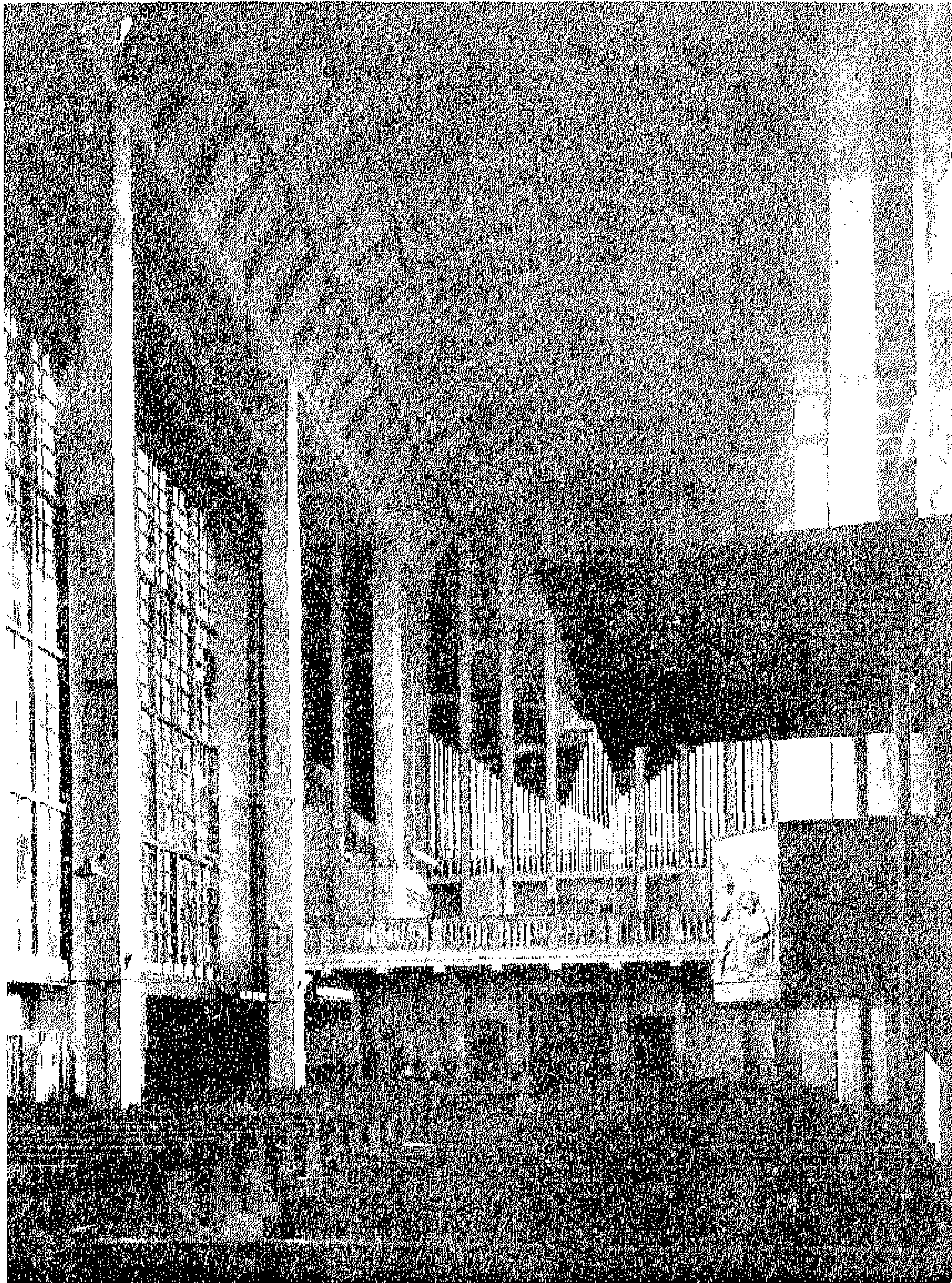
شكل ٤٨٠



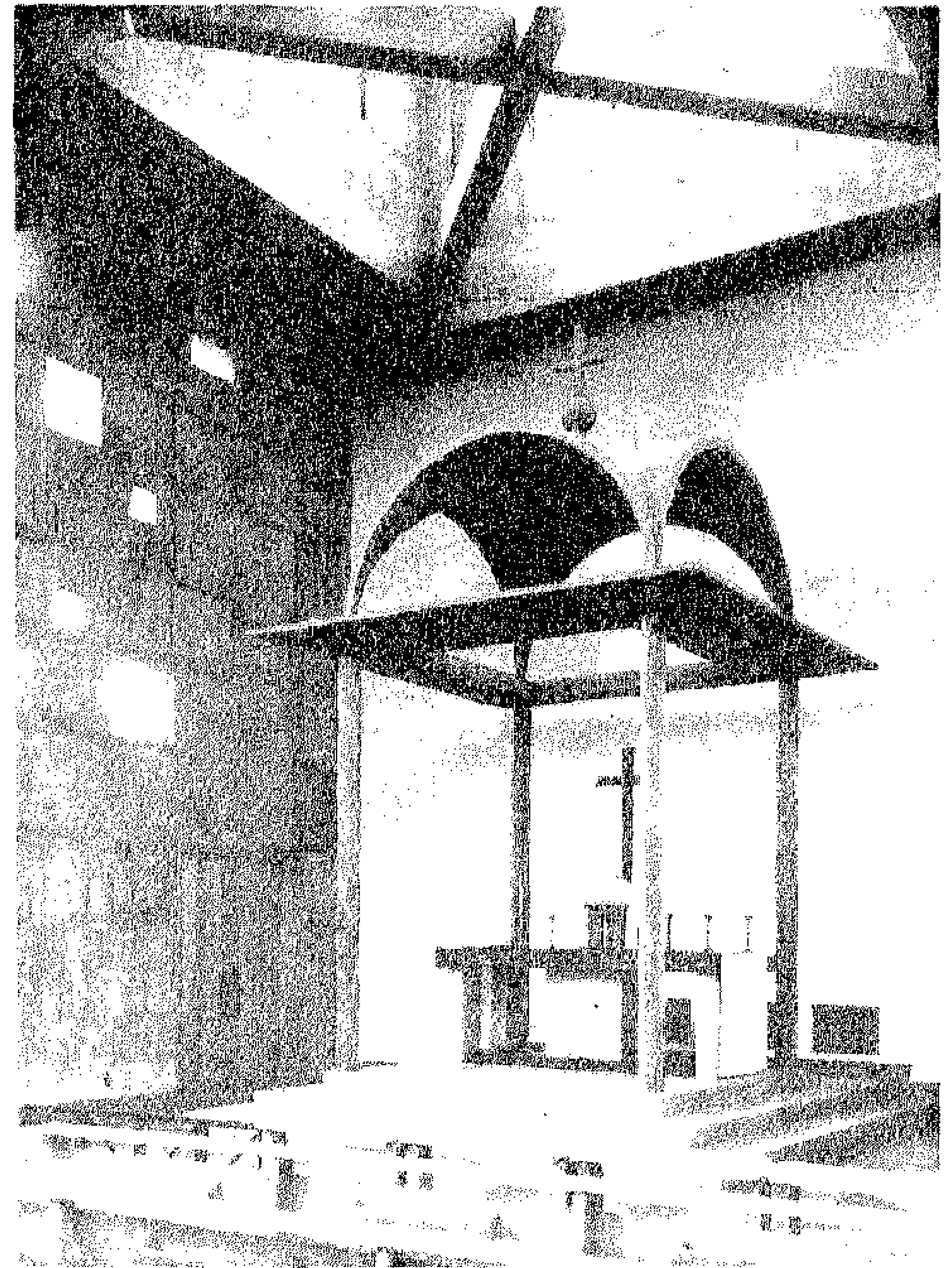
المرونة فى تشكيل الأعمدة الخرسانية

(شكل ٤٧٧) أعمدة مبنى الزراعة بريو دى جانيرو .
(شكل ٤٧٨) أعمدة قصر الرياضة الصغير
(أ) والكبير (ب) بروما .

شكل ٤٨١



شكل ٤٨٢

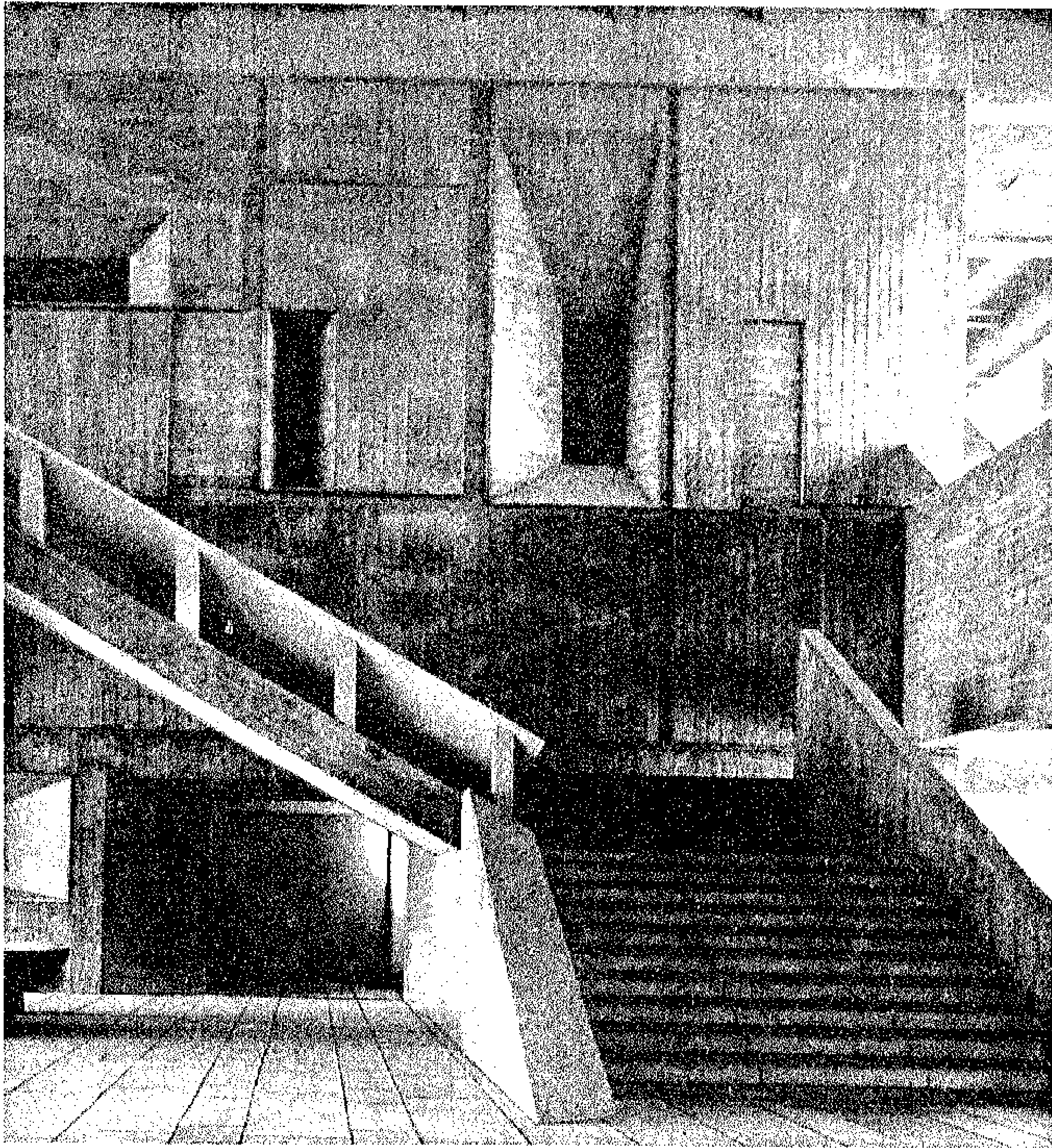


أسطح خرسانية مكشوفة

(شكل ٤٨١) كنيسة سانت أنطونيوس فى بازل بسويسرا (المهندس المعمارى كارل موزر).

(شكل ٤٨٢) كنيسة سانت باتريك بطوكيو باليابان (المهندسان المعماريان ريموند ورادو).

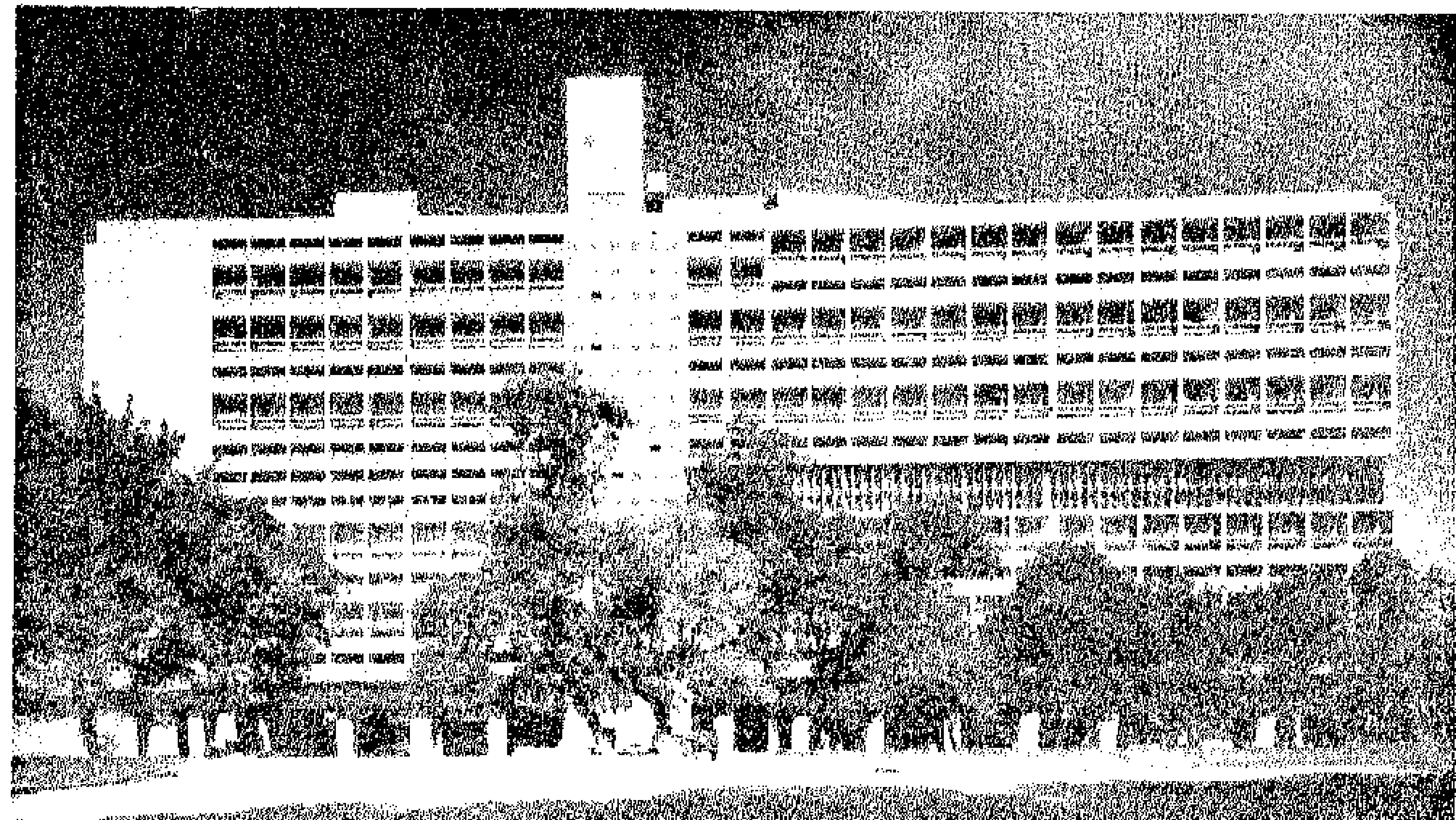
شكل ٤٨٣



أسطح خرسانية مكشوفة

(شكل ٤٨٣) صالة المدخل بدار مجلس مدينة كوراشيكى باليابان (المهندس المعمارى كنزو تانجى)
(شكل ٤٨٤) مجموعة مارسيليا السكنية (المهندس المعمارى لوكوربوزييه).

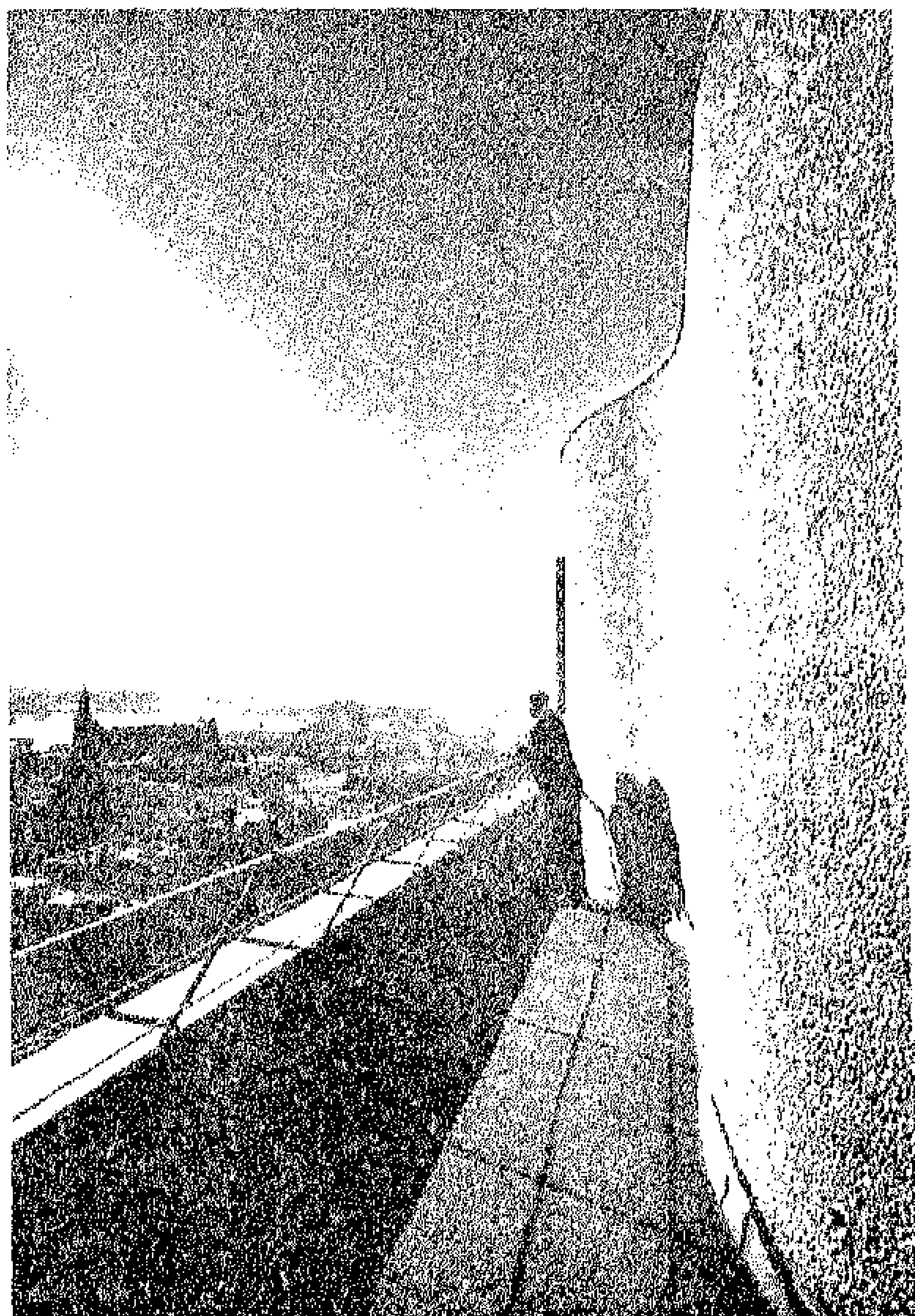
شكل ٤٨٤

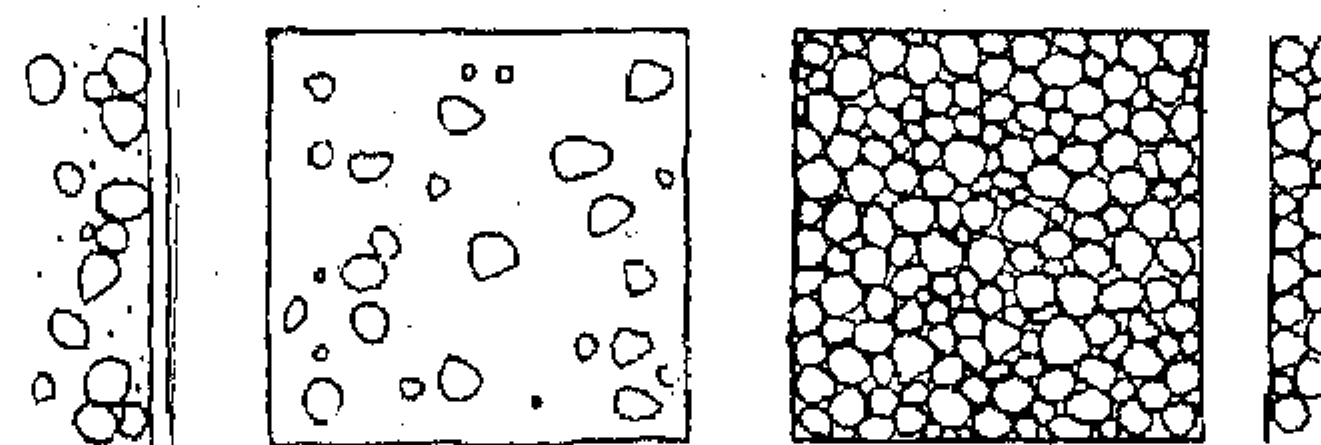


أسطح خرسانية مكشوفة الركام

(شكل ٤٨٥) مقارنة بين سطح خرسانى عادى معالج بالرمل المضغوط وسطح آخر بخرسانة مضغوطة وركام متدرج الحجم — مثل للخرسانة المضغوطة على شكل منحنى .

(شكل ٤٨٦) أسطح خرسانية على طريقة « نقل الركام » فى مبنى محكمة كيومنج كاونتى فى وست بوينت بولاية نبراسكا .





شكل ٤٨٥



شكل ٤٨٦

شكل ٤٨٧



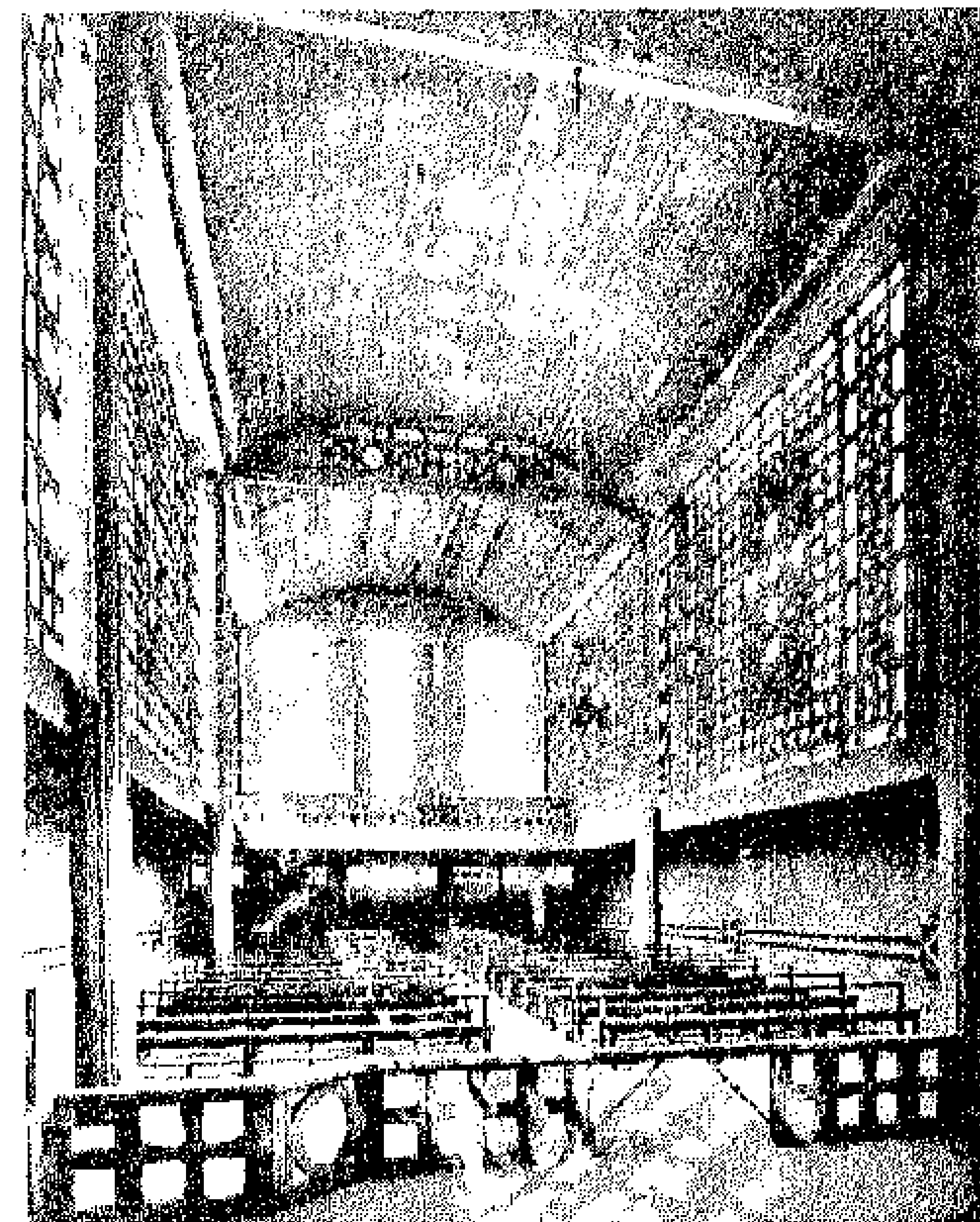
أسطح خرسانية مكشوفة

(شكل ٤٨٧) كنيسة سان جون فى كوليدج ڤيل بولاية منسوتا (المعمارى مارسيل بروير ١٨٥٣ - ١٩٦١) .
(شكل ٤٨٨) مبنى مجلة ريدرز دايجست بطوكيو (المعماريين ريموند ورادو) .

شكل ٤٨٨



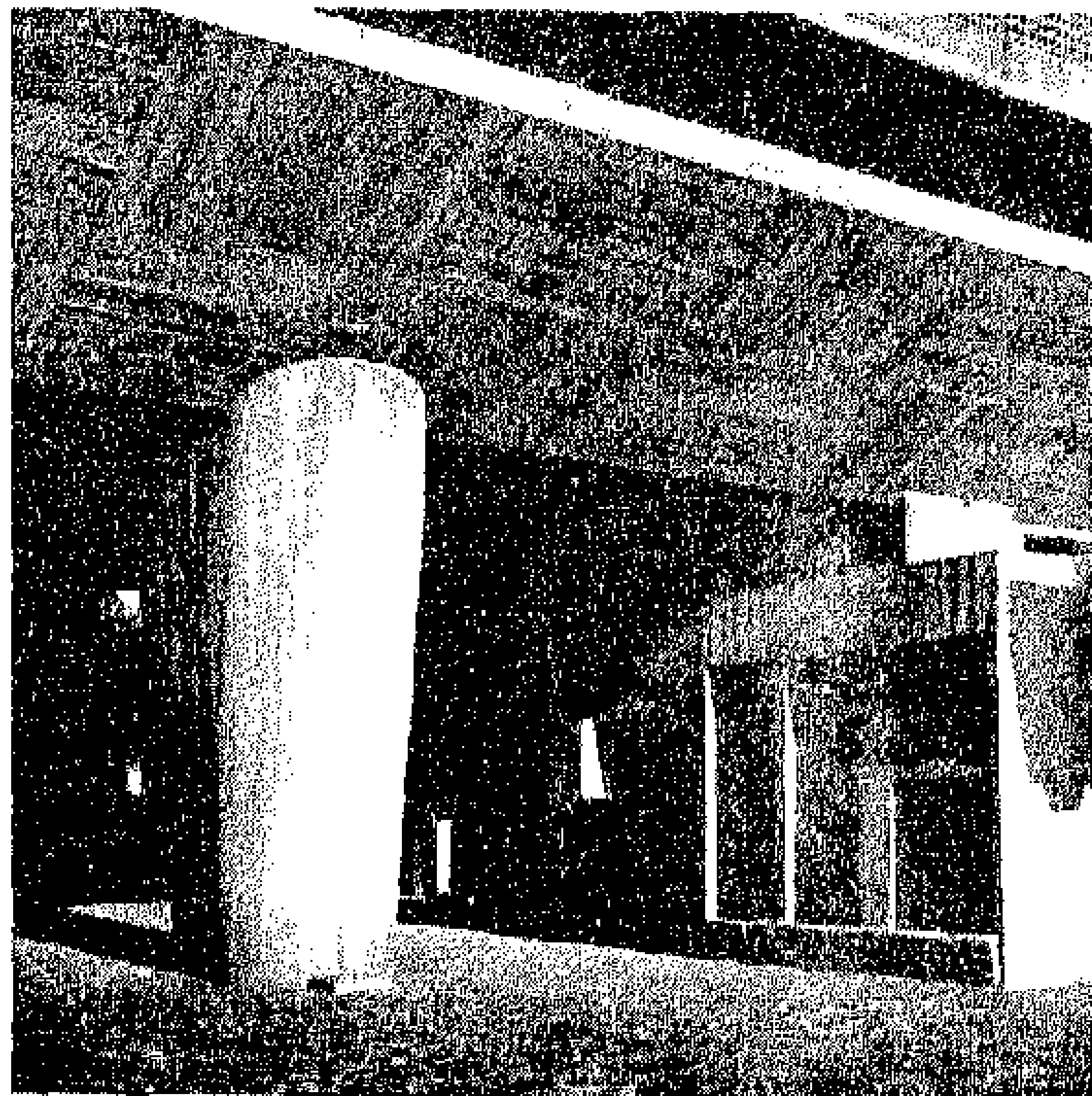
شكل ٤٨٩



شكل ٤٩٠



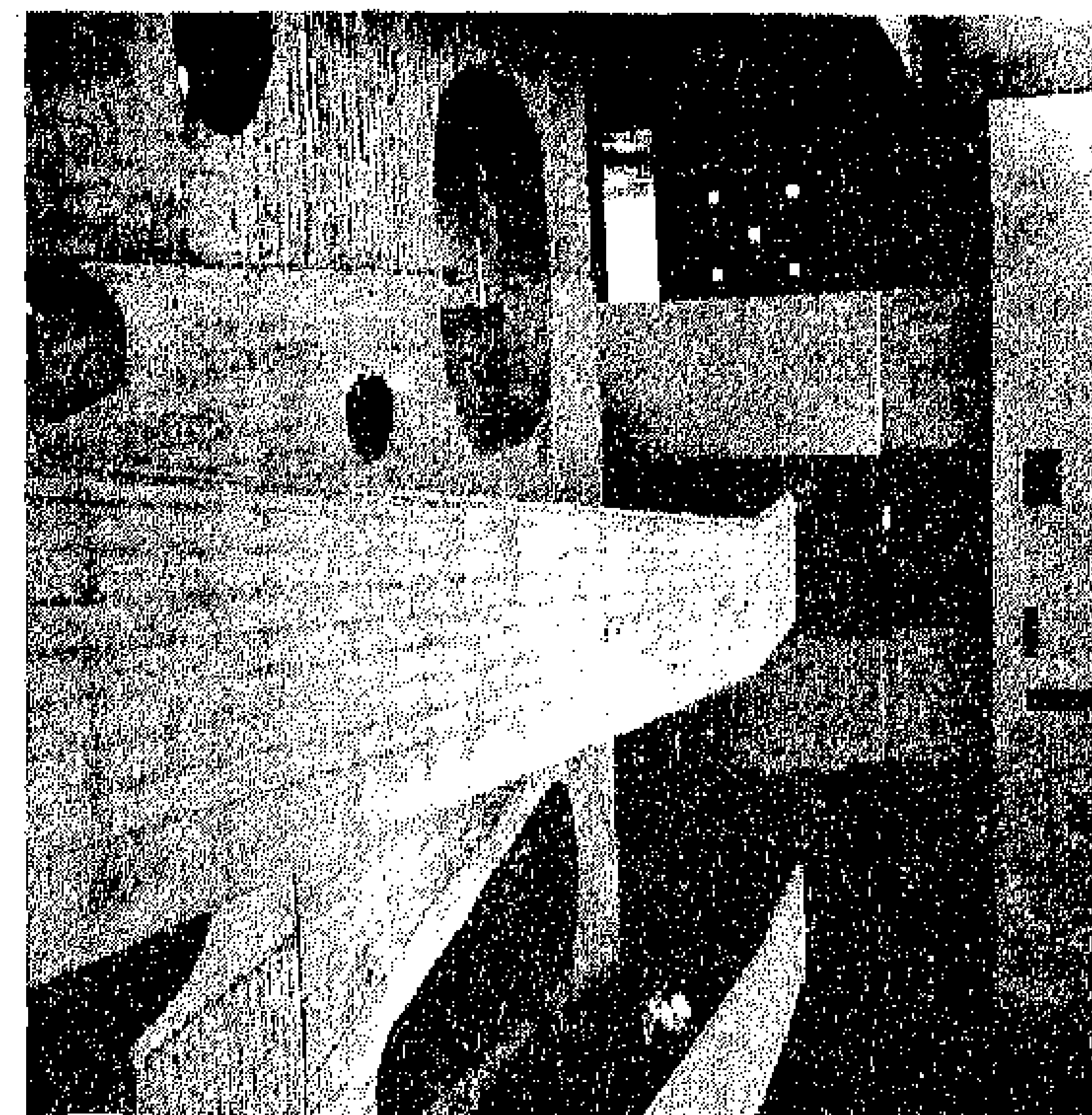
شكل ٤٩١

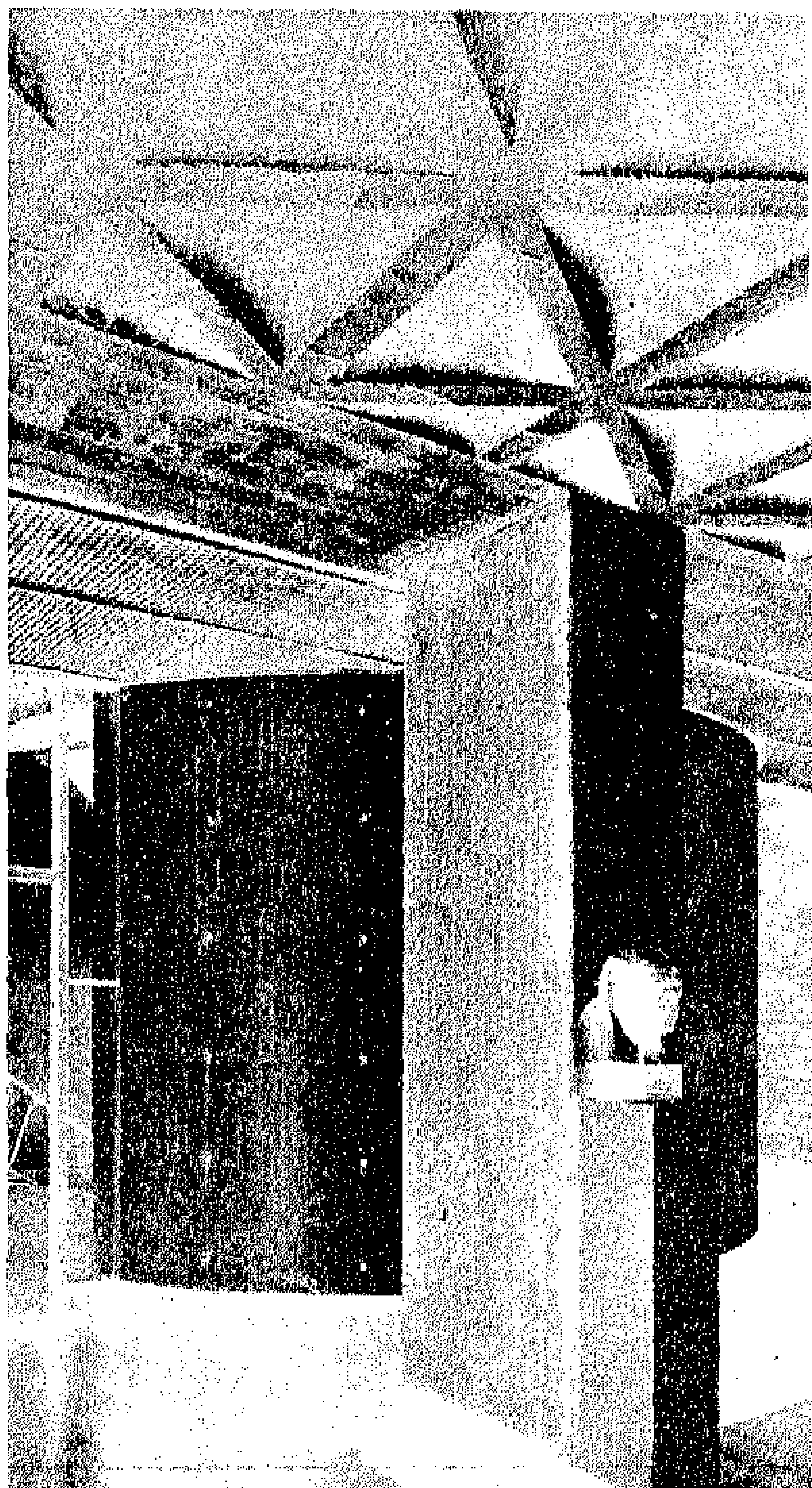


انطباعات الشدات على الأسطح الخرسانية

(شكل ٤٨٩) كنيسة سانت تيريز بمونمانى بفرنسا (المهندس المعمارى أوجست بيريه)
(شكل ٤٩٠) مبنى محطة القوى فى سد نورس بمشروع وادى نهر التنسى بأمريكا .
(شكل ٤٩١) الدور الأرضى بالمجموعة السكنية بمرسيليا (المهندس لوكوربوزييه) .
(شكل ٤٩٢) المنحدر بمبنى المحكمة العليا بشانديجار بالهند (المهندس لوكوربوزييه).
(شكل ٤٩٣) مبنى أستديوهات التصميم بجامعة ييل (المهندس المعمارى لويس كان).

شكل ٤٩٢





شكل ٤٩٣



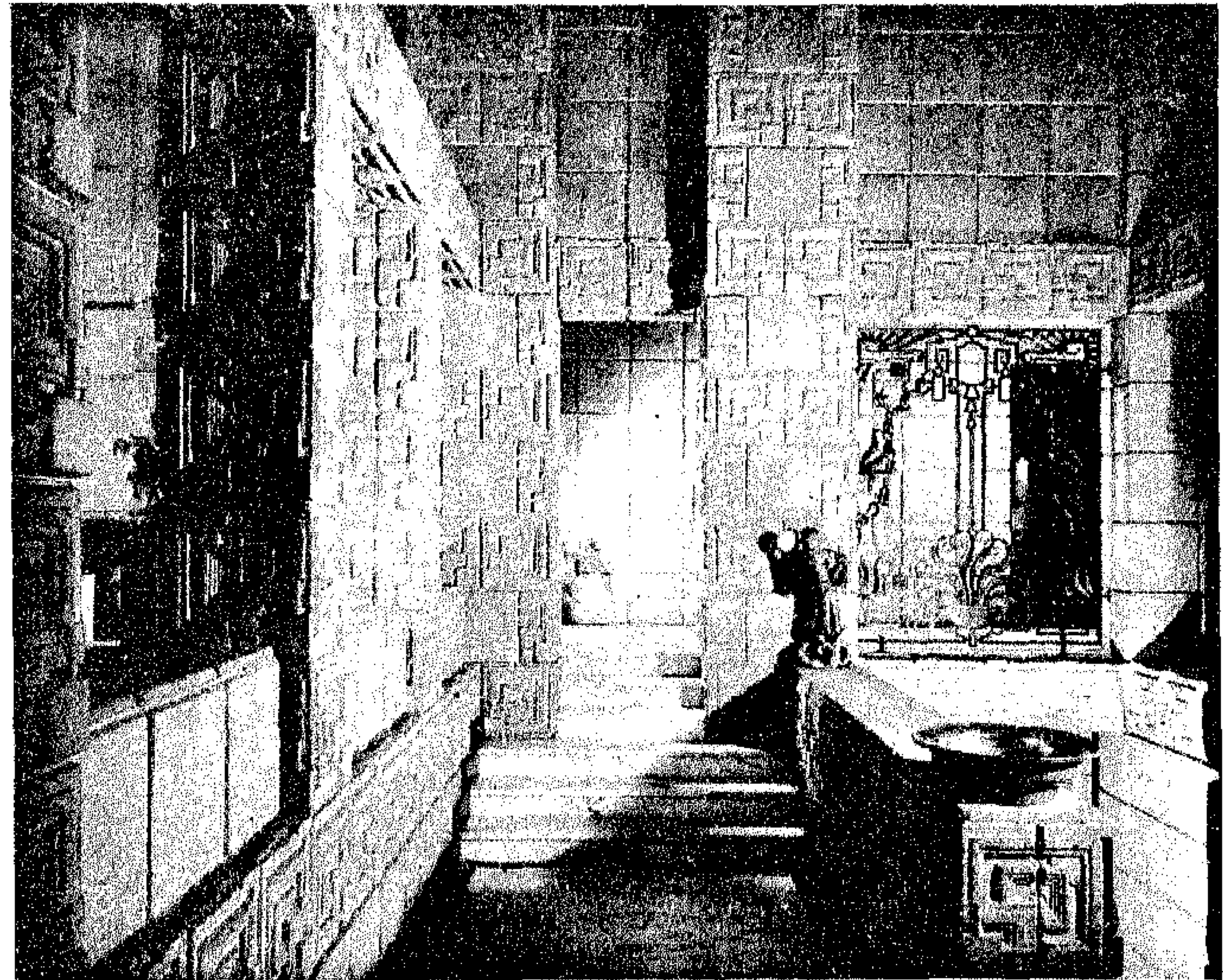
شكل ٤٩٤:

أسطح خرسانية بركام مكشوف

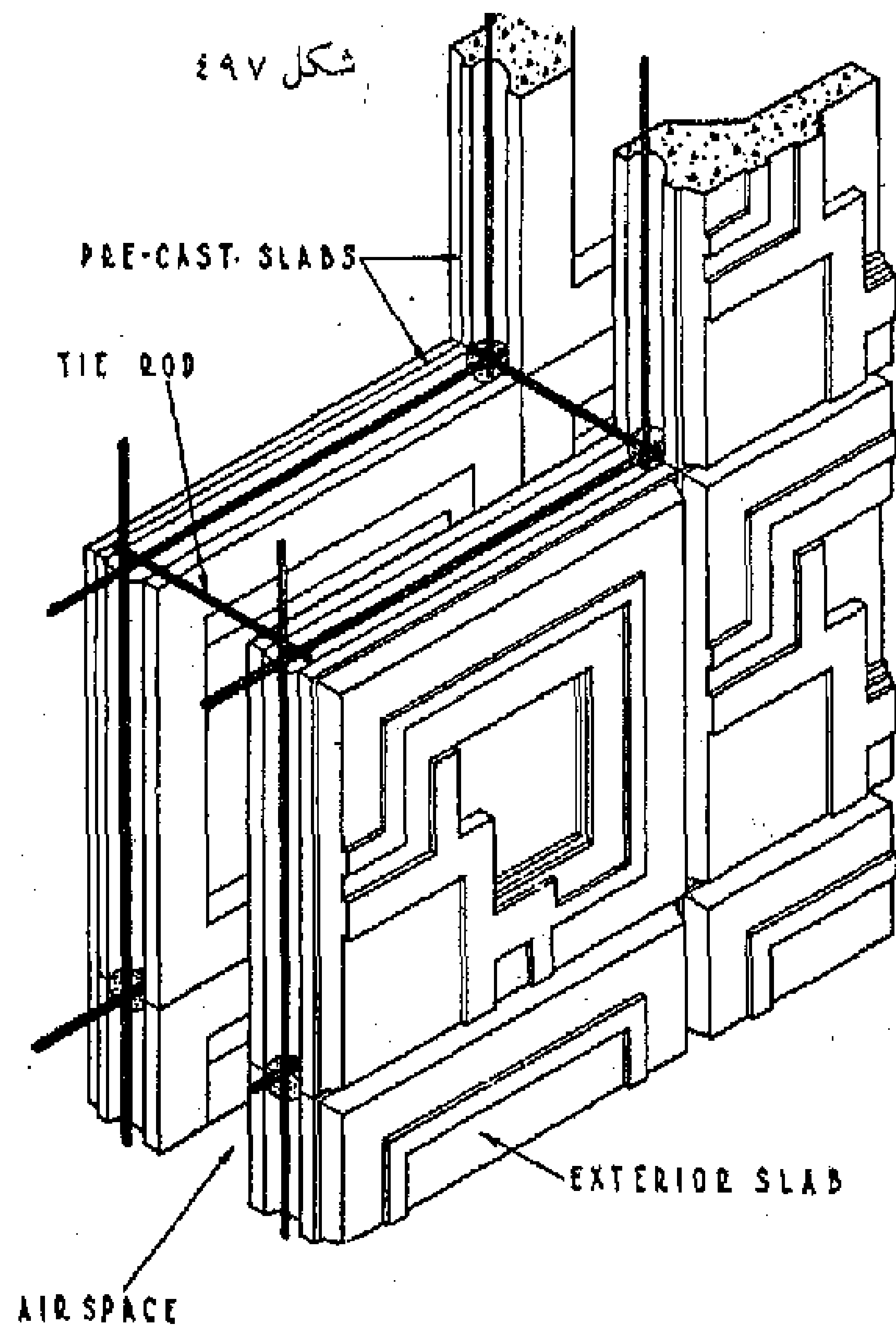
(شكل ٤٩٤) أسطح خرسانية بأحجار ذات أحجام متباينة فى المقر الغربى لفرانك لويد رايت — تالياسن الغرب .

(شكل ٤٩٥) كنيسة الصليب المقدس فى سيدونا بأريزونا (المهندسان المعماريان أنشن وألن) .

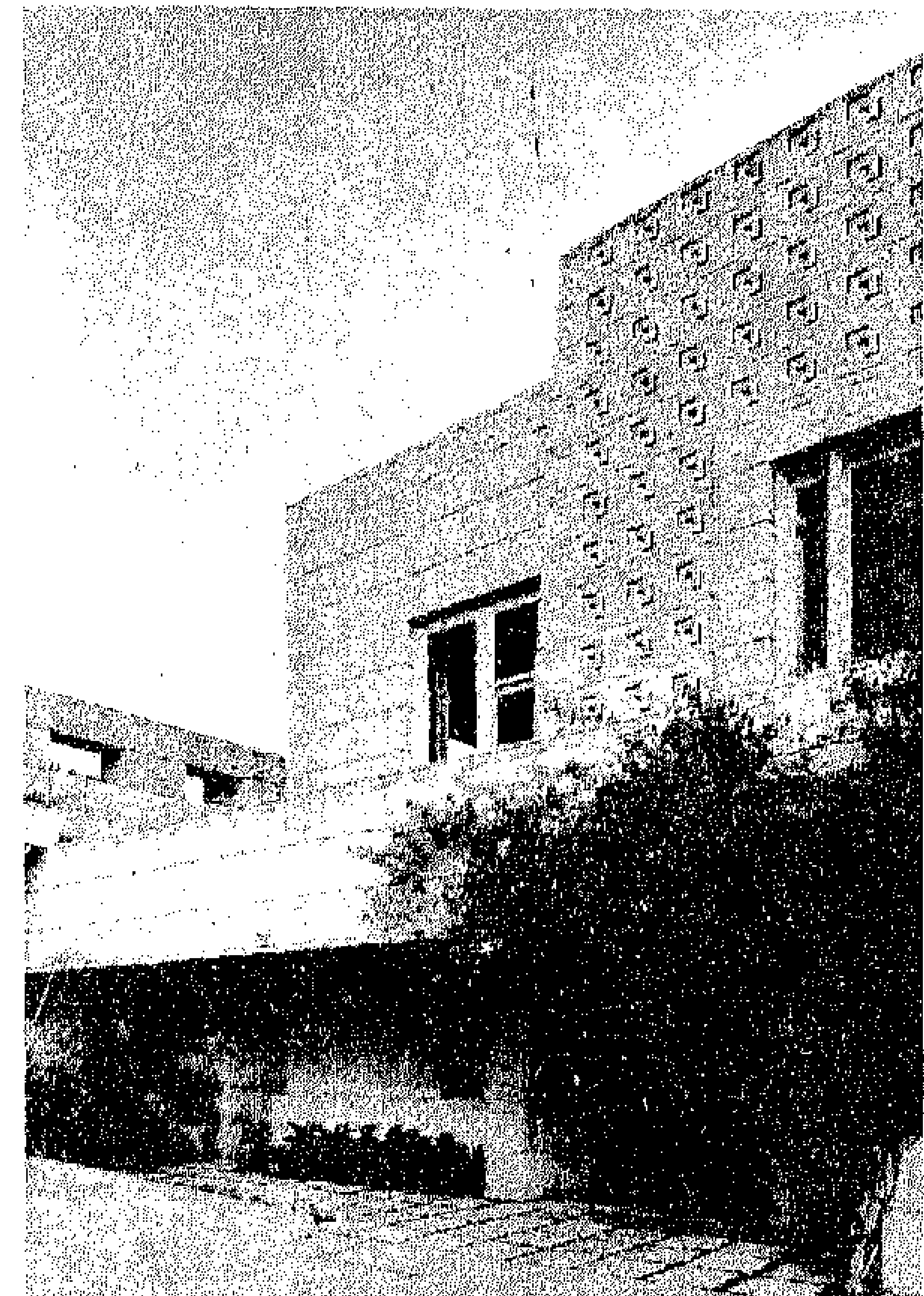
شكل ١٦



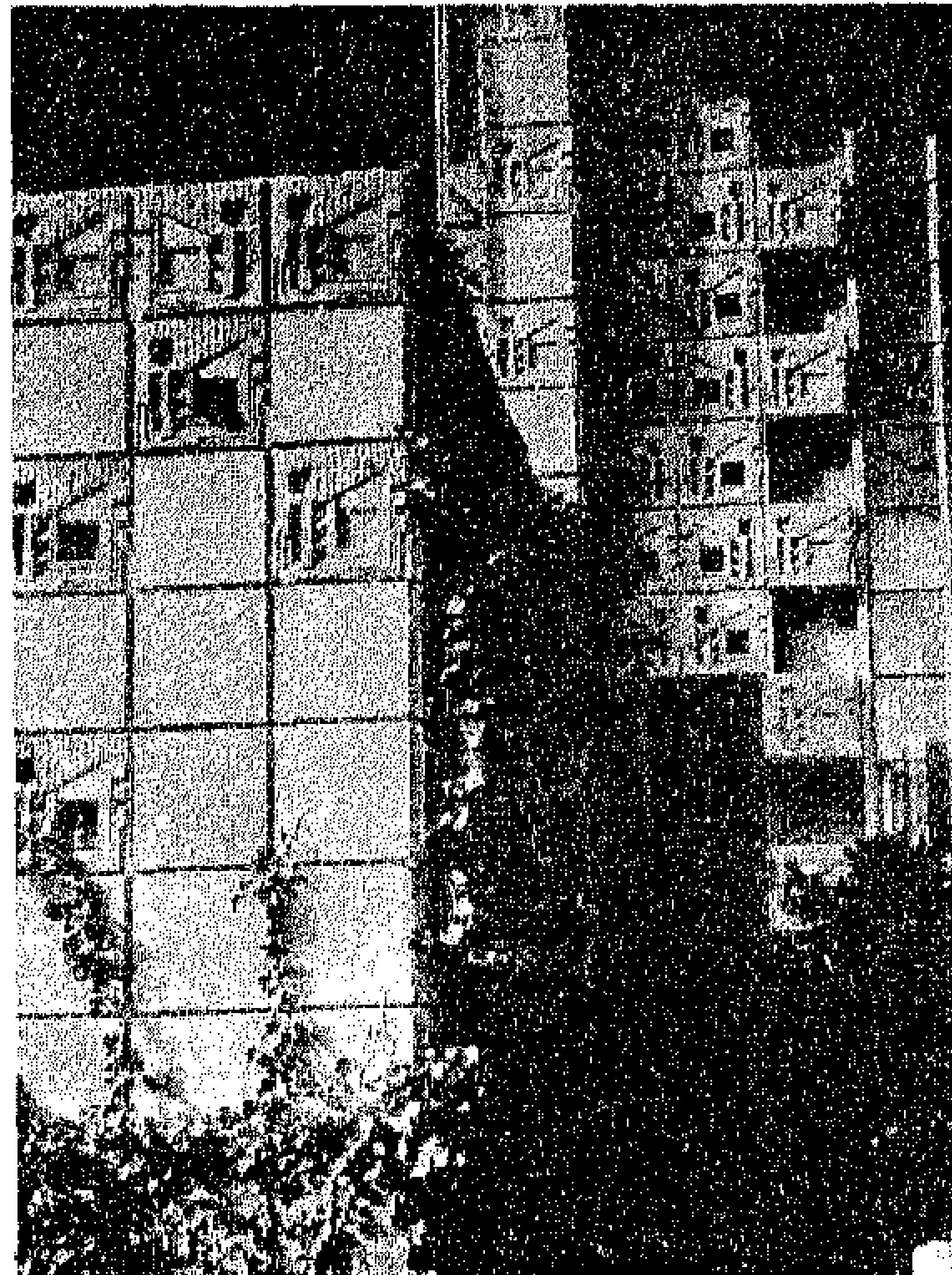
شكل ٤٩٧



شكل ٤٩٨



شكل ٤٩٩



بلوكات خرسانية زخرفية —

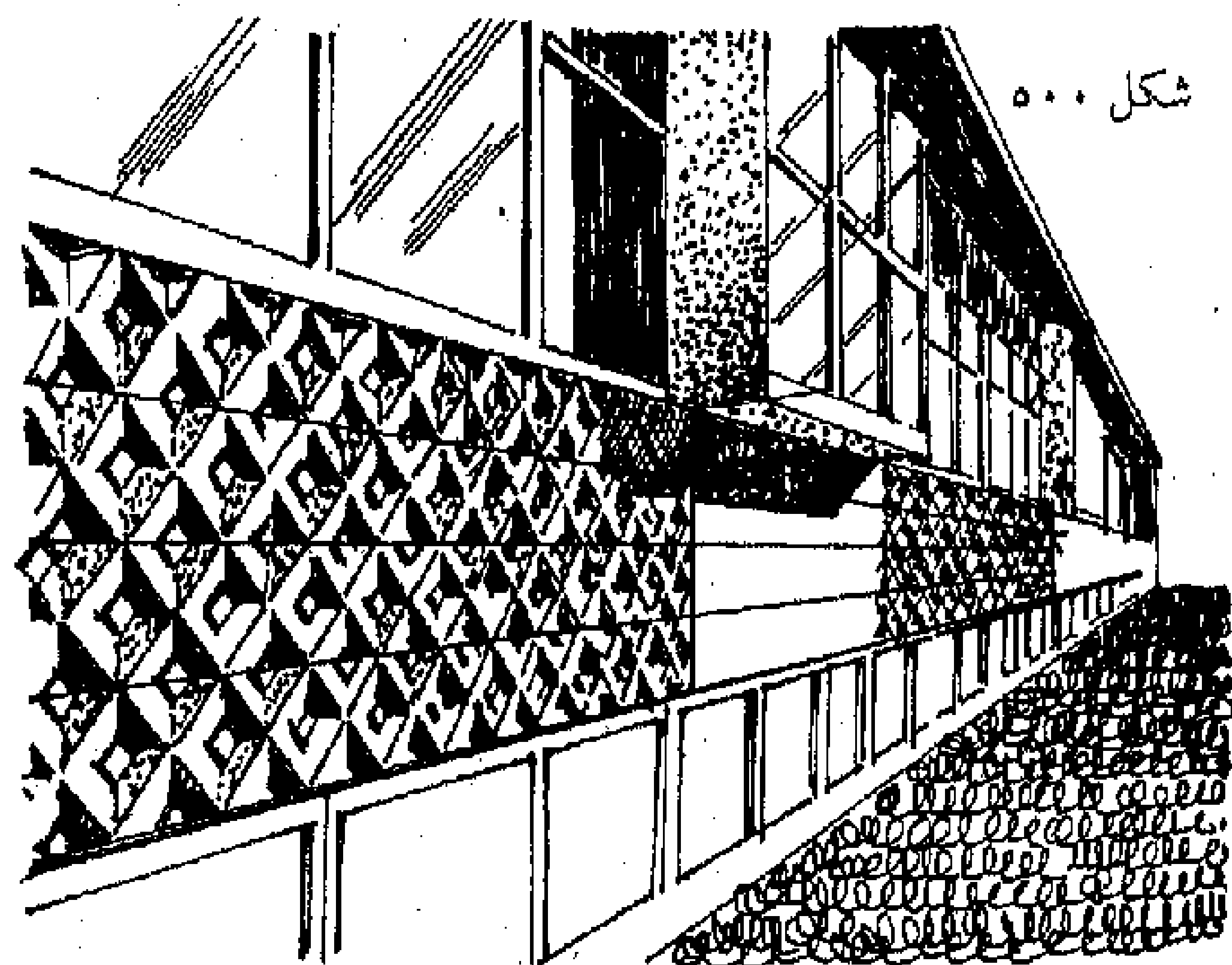
فرانك لويد رايت

(شكل ٤٩٦) استعمال رايت البلوكات الخرسانية كسطح داخلي نهائي .

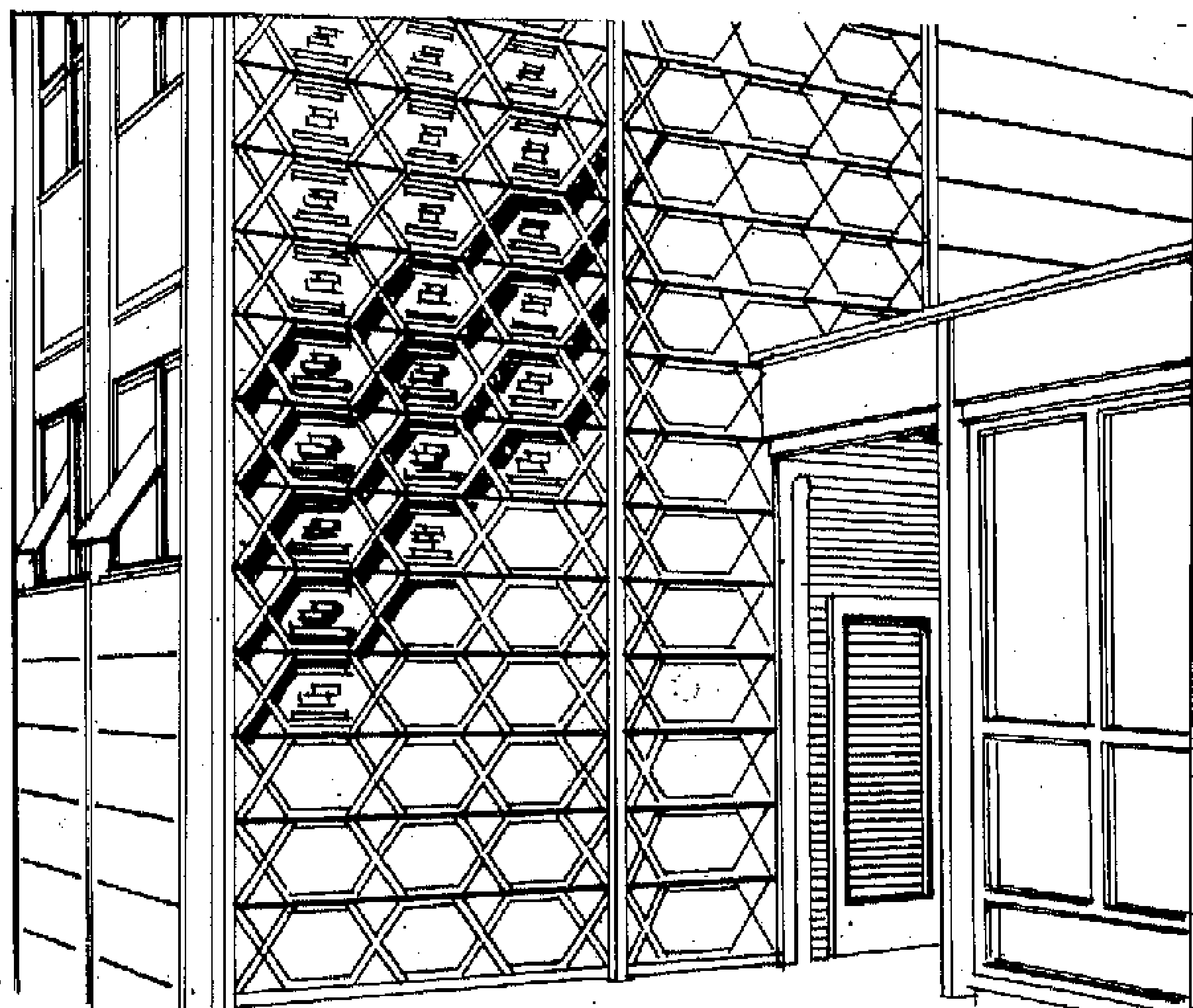
(شكل ٤٩٧) منزل مايارد بپاسادينا بكاليفورنيا — واجهة المنزل المطلة على البحيرة الصناعية .

(شكل ٤٩٨) منزل شارلز إينس بلوس أنجليس ، صنعت بلوكاته من ركام الجرانيت والأسمنت الأبيض .

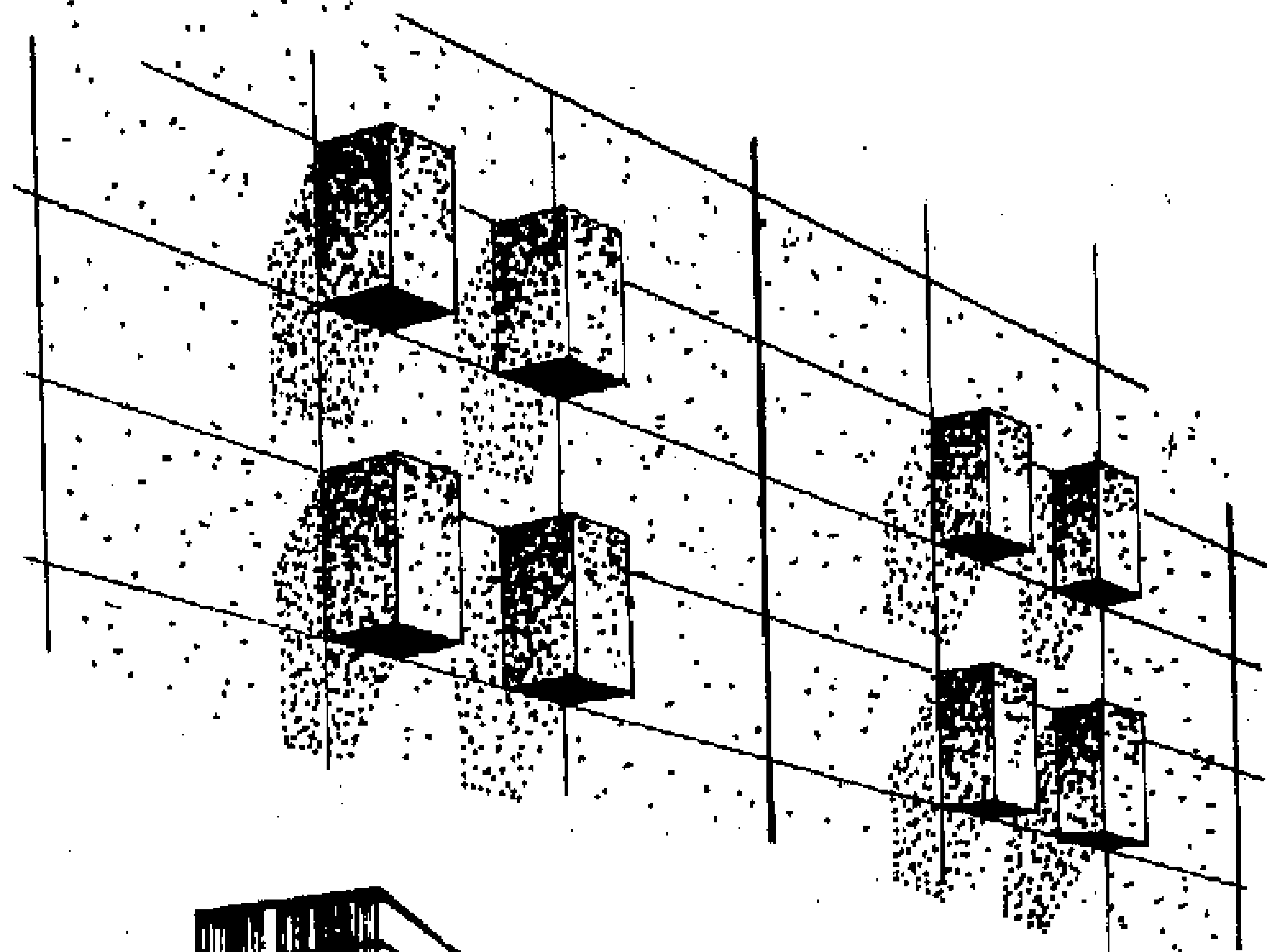
(شكل ٤٩٩) منزل فريمان بهوليود بكاليفورنيا .



شكل ٥٠٠



شكل ٥٠١



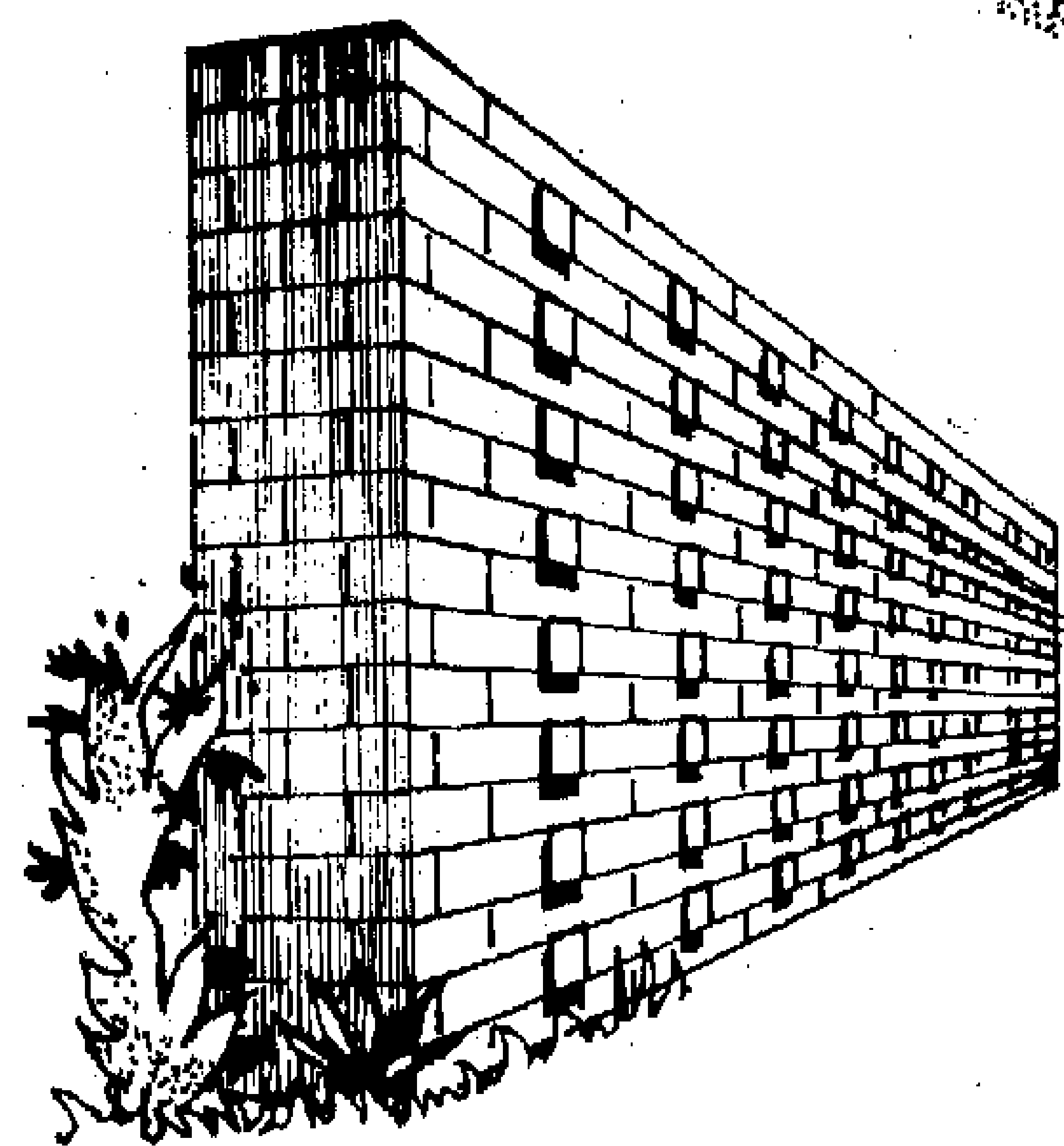
بلوكات خرسانية زخرفية

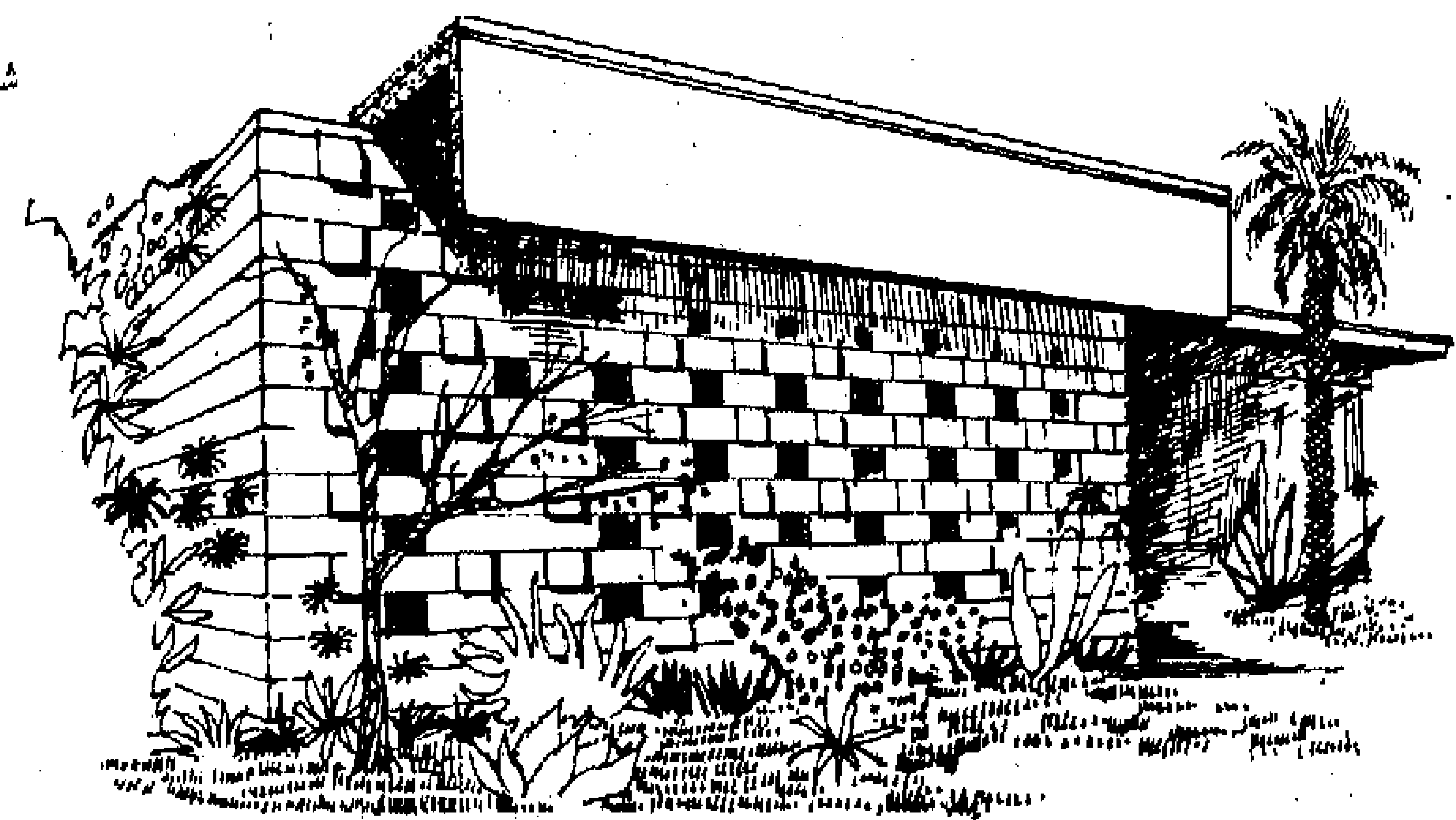
(شكل ٥٠٠) بلوكات خرسانية على هيئة أهرامات مقلوبة فى مدرسة أبسوتش فى كاسل هل بإنجلترا (المهندسون جون وسلابر وهاوارد) .

(شكل ٥٠١) مسدسات متداخلة فى بلوكات خرسانية فاتحة اللون فى مدرسة أبسوتش الثانوية .

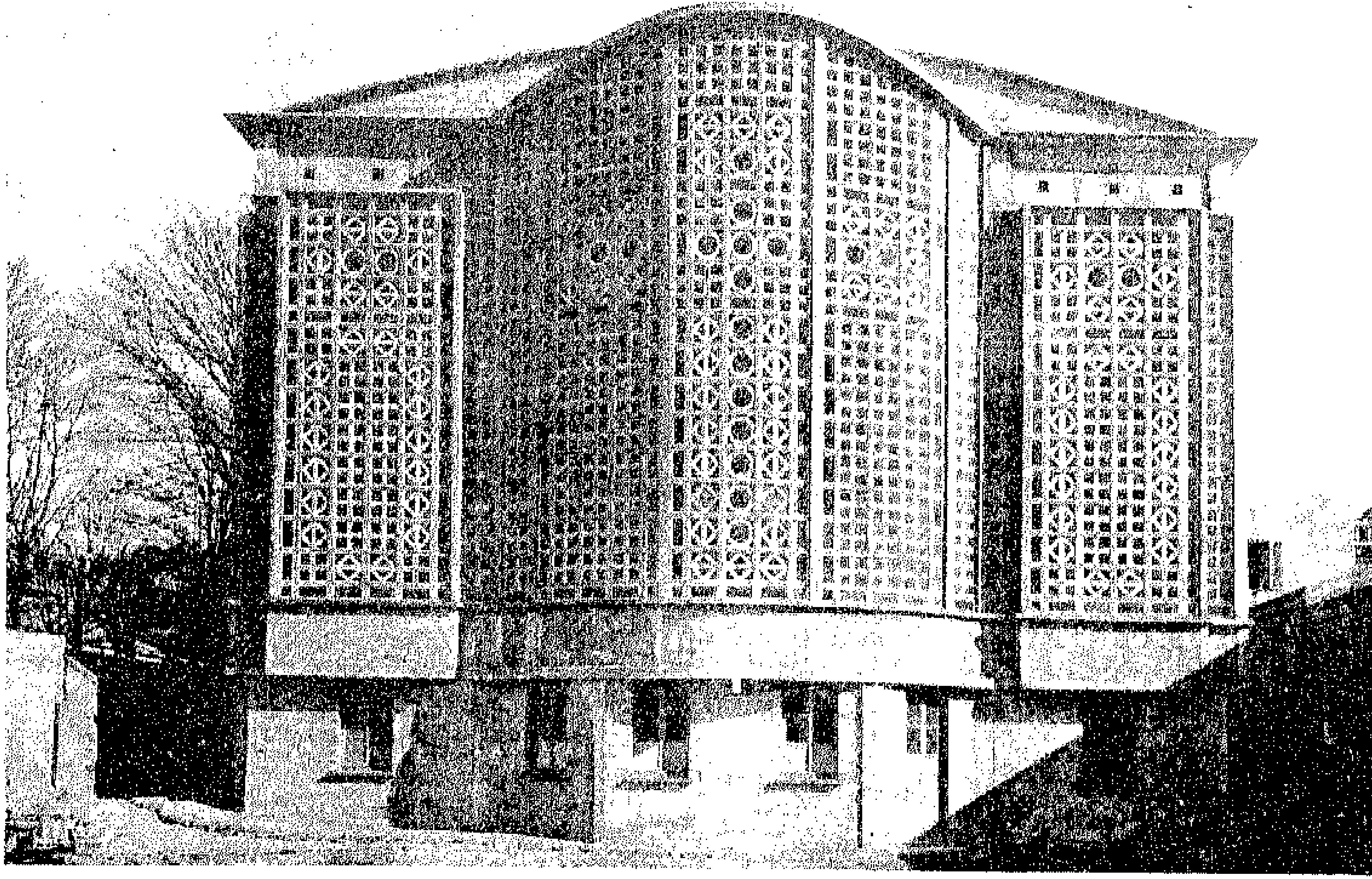
(شكل ٥٠٢) بلوكات خرسانية منتظمة فى توزيعات الظل والنور جاهزة تحت الطلب فى أمريكا .

شكل ٥٠٢

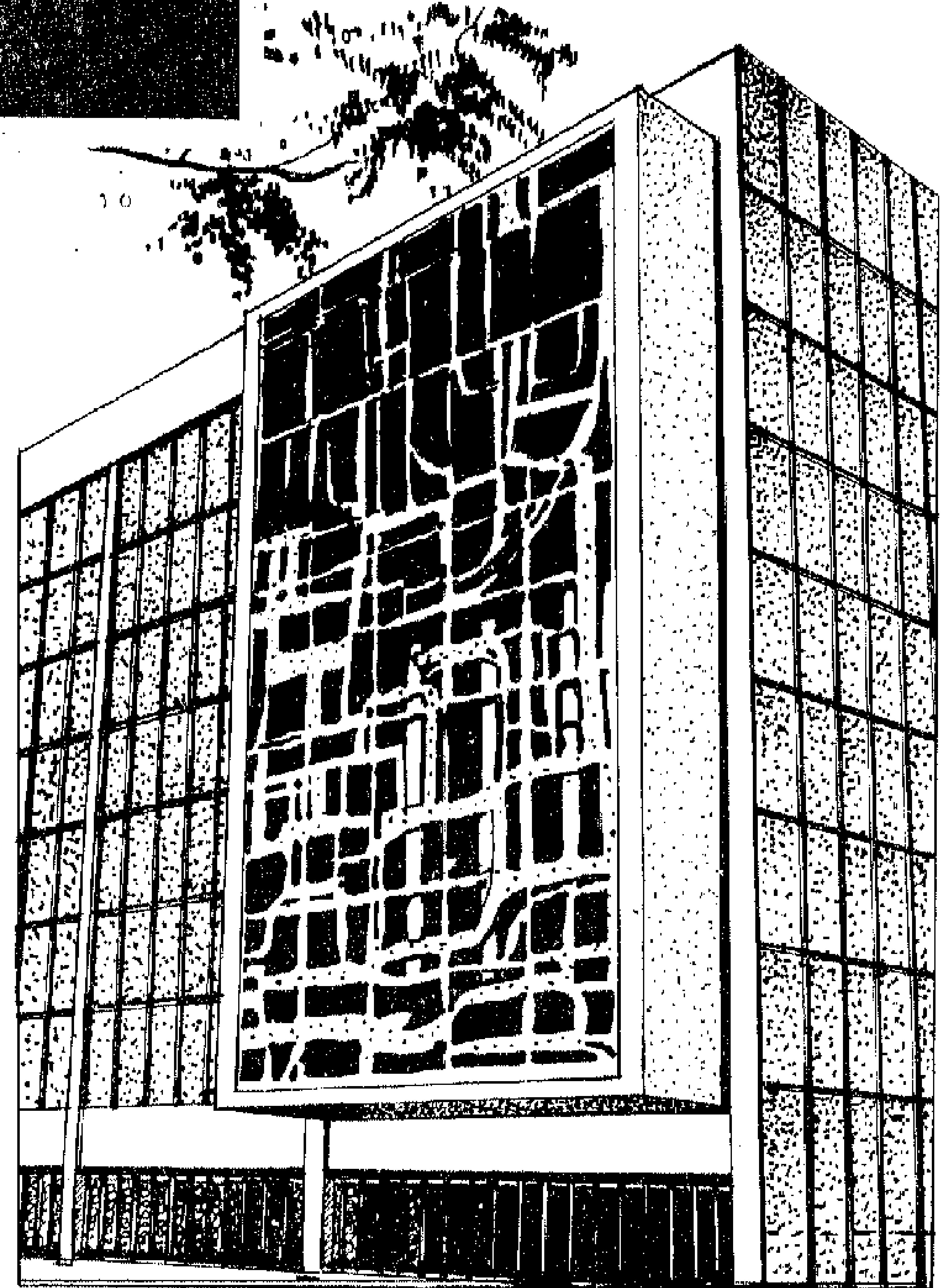




شكل ٥٠٣



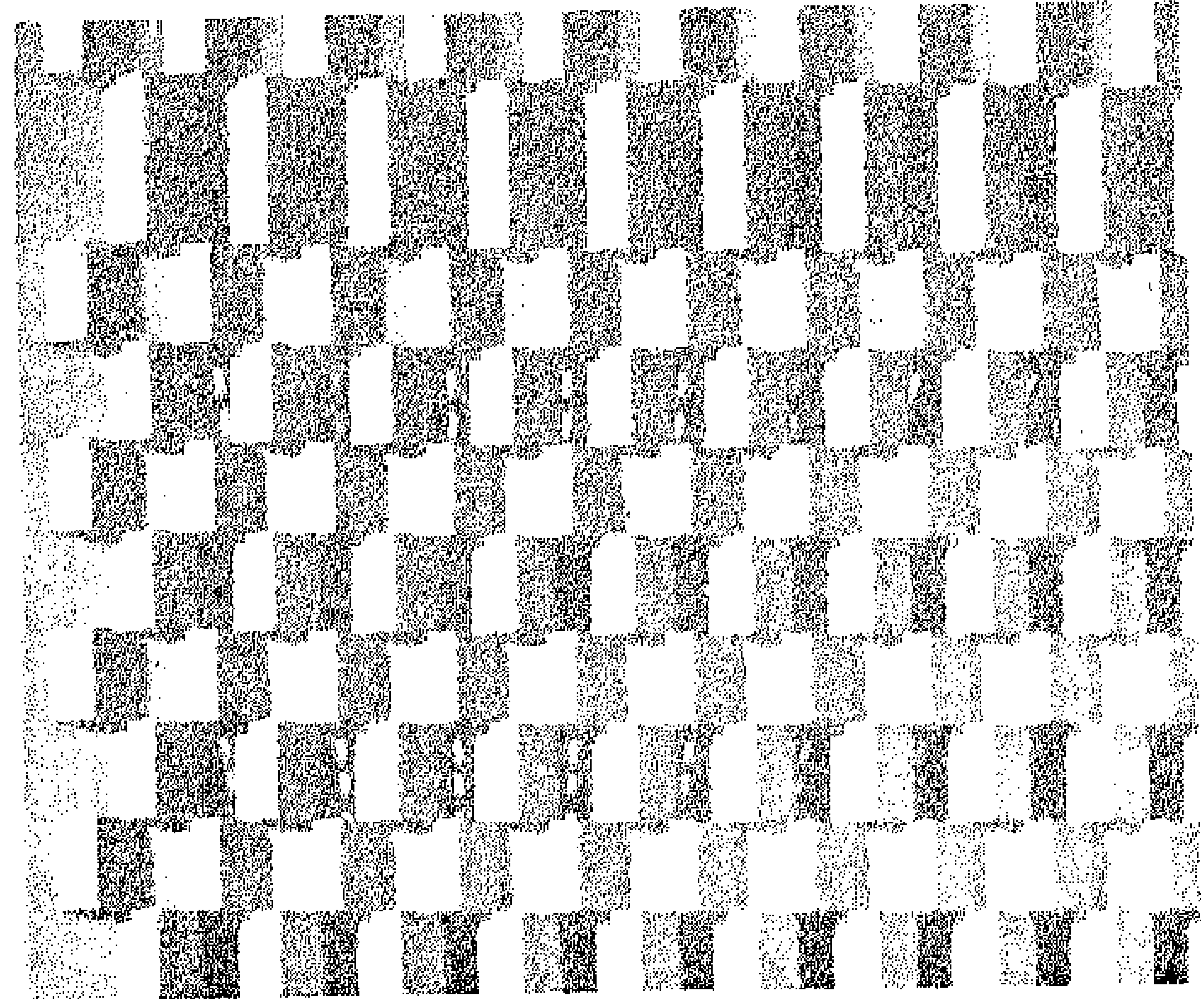
شكل ٥٠٤



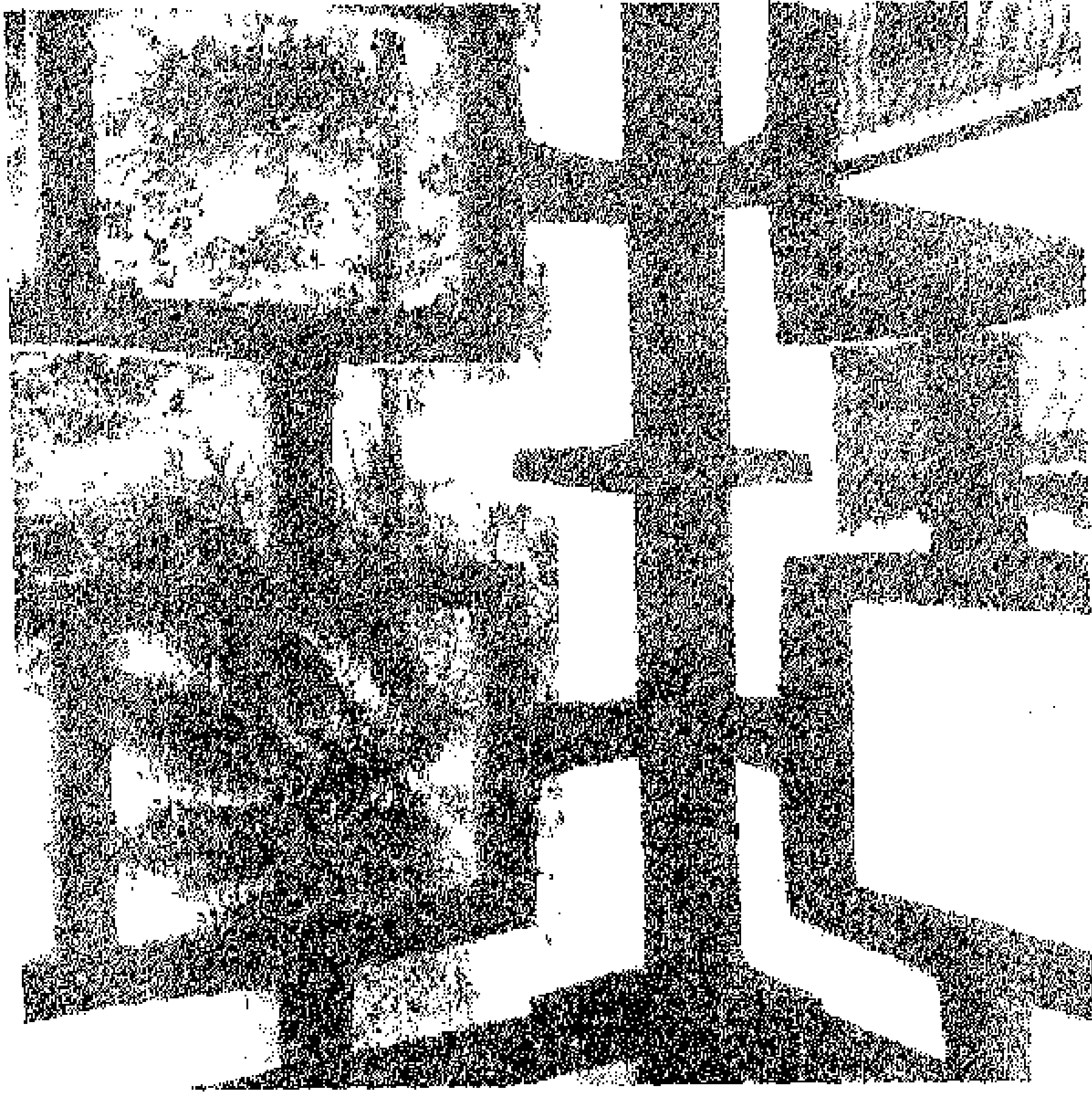
مخرومات خرسانية زخرفية

(٥٠٣) واجهة خلفية لكنيسة نوتردام لورانس بباريس – المهندس المعماري أوجست بيريه .
(٥٠٤) شباك خرسانى زجاجى فى كنيسة سانت جان دارك فى بلفورت بفرنسا (المهندس موريس لودز .

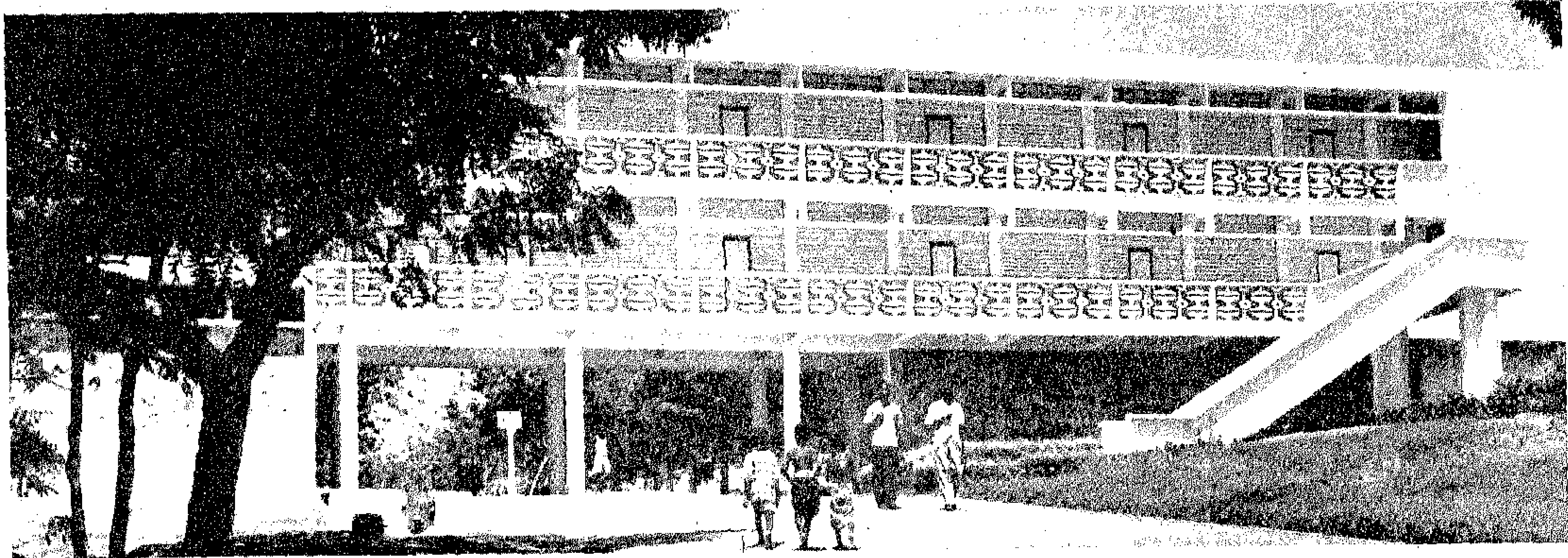
شكل ٥٠٥

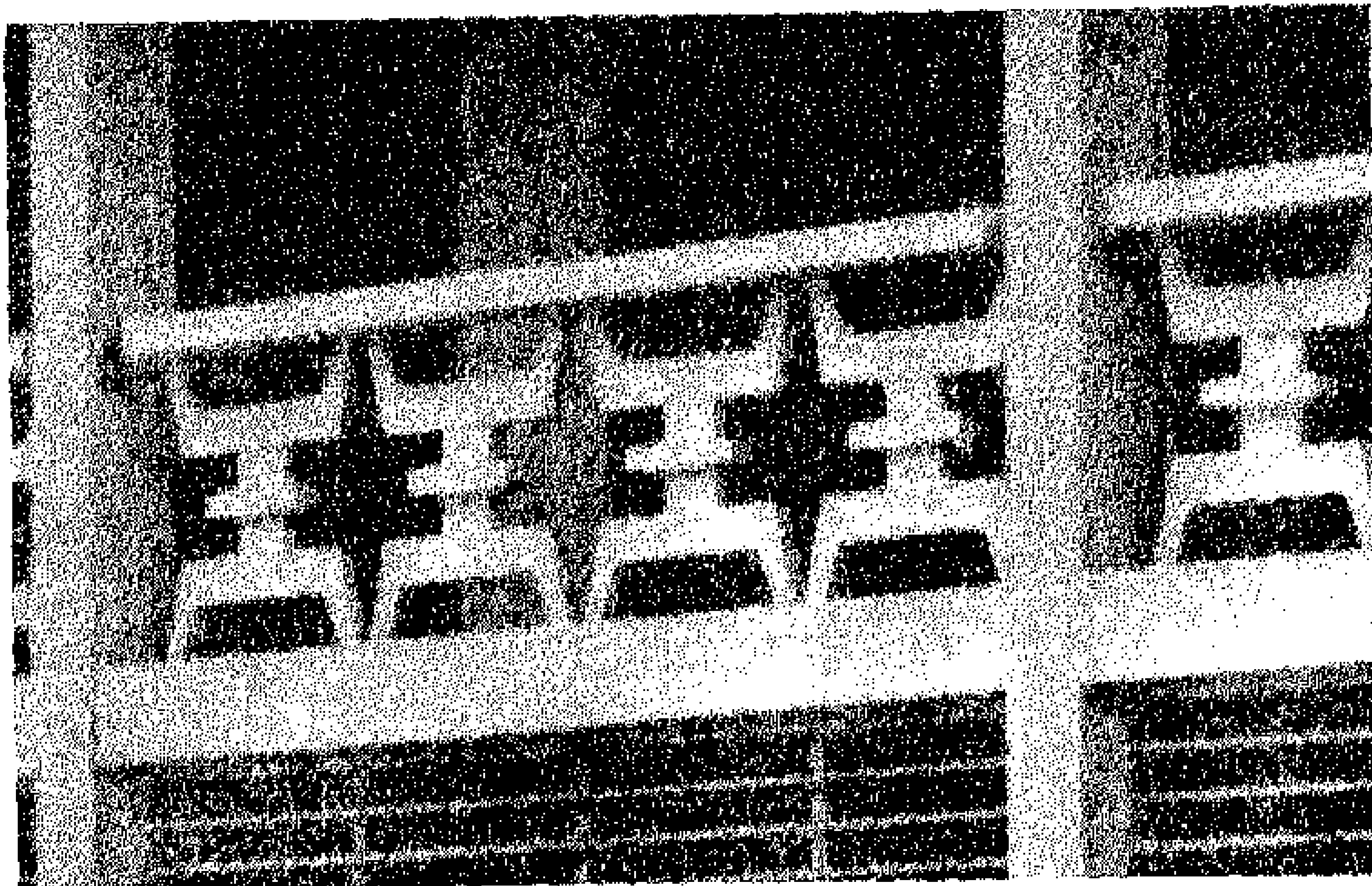


شكل ٥٠٦



شكل ٥٠٧





شكل ٥٠٨

مخرمات خرسانية زخرفية

(٥٠٥) بلوكات انتفاعية زخرفية جاهزة فى واجهات مبنى بنك واشوفيا فى شارلوت بكارولينا الشمالية (المهندسون المعماريون هاريسون وأبرماڤيتز سنة ١٩٥٧ – ٥٨) .

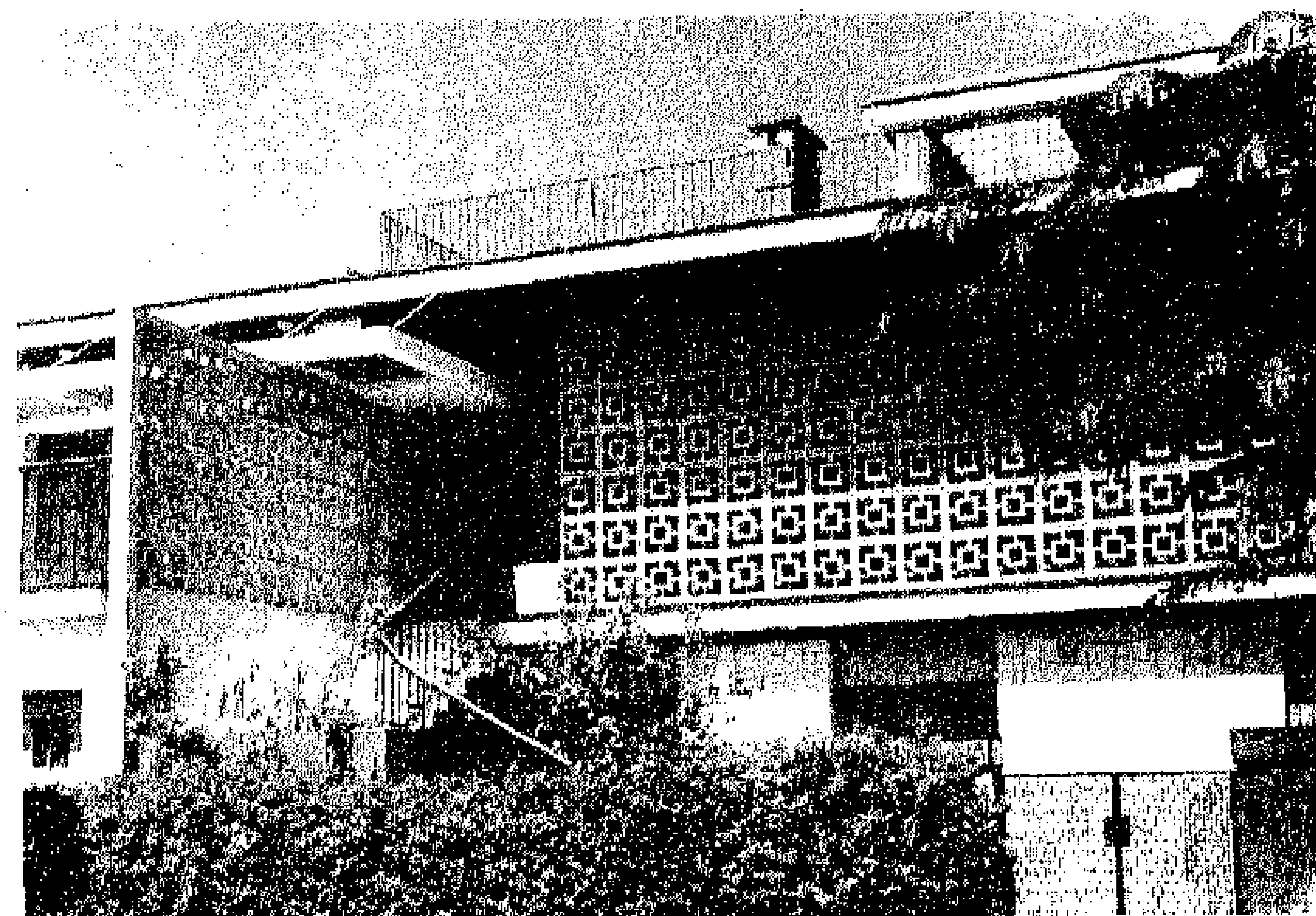
(٥٠٦) واجهات شبكية أمام مكتبة جامعة أبادا بنيجيريا (المهندسون المعماريون (فراى–درو ودريك ولازدن) .

(٥٠٧) مدرسة ابوكو وير الثانوية فى كومازى بغانا – تفصيلة لسور البلكونات .

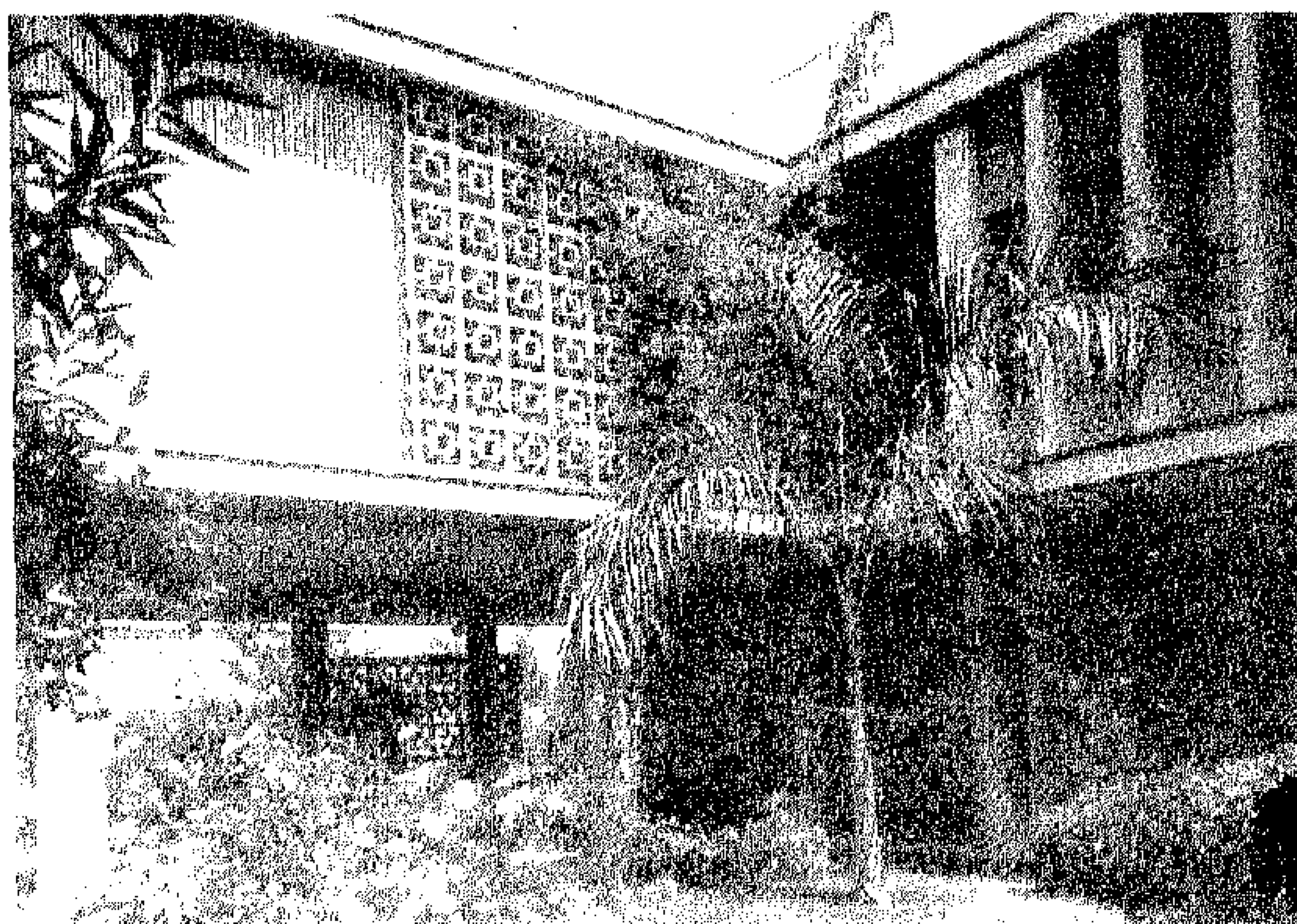
(٥٠٨) مبنى مساكن الطلبة فى مدرسة مفانتسييم الثانوية فى كيب كوست بغانا .

شکل ۵۰۹

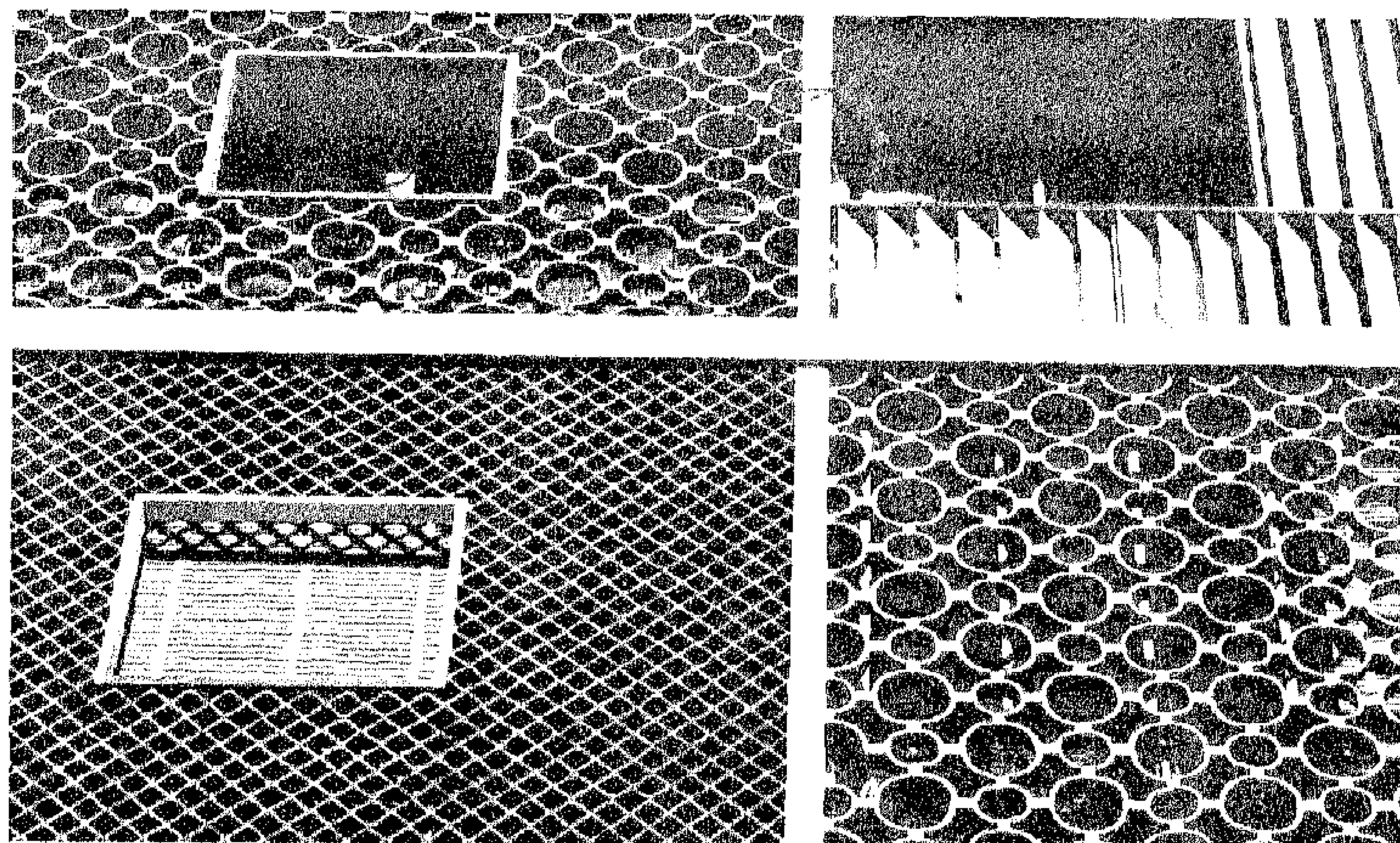
شکل ۵۱۰



شکل ۵۱۱



شكل ٥١٢



شكل ٥١٣

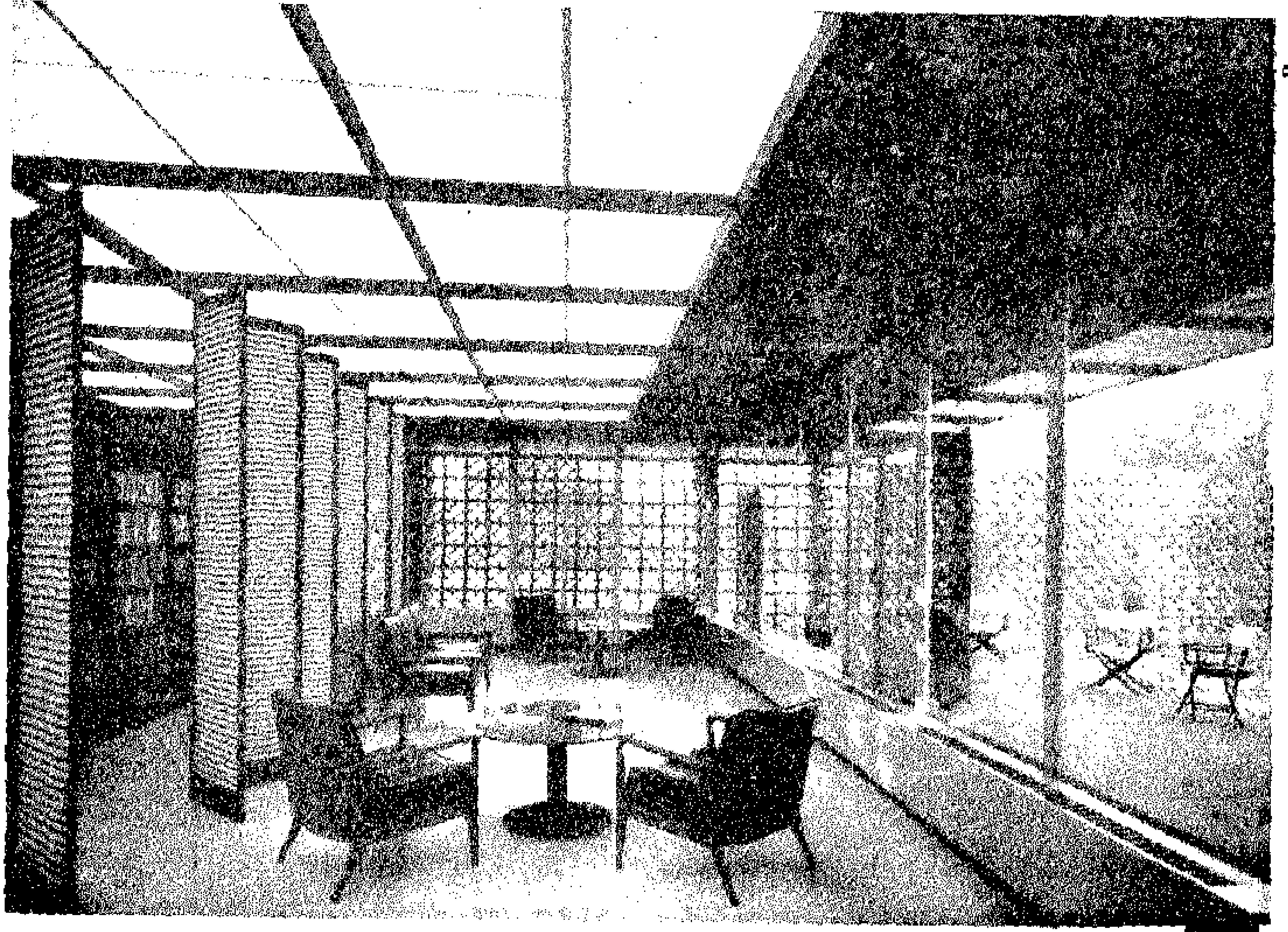
مخرمات خرسانية زخرفية

(شكل ٥٠٩) المركز القومى للبحوث الاجتماعية والجنائية بالقاهرة (المهندس المعمارى دكتور على رأفت سنة ١٩٦٠) .
(شكل ٥١٠) ڤيلا المهندس فؤاد شلبى بالقاهرة — واجهة .
(شكل ٥١١) منظور من الفناء الداخلى بالفيلا .

مخرمات خرسانية زخرفية

(شكل ٥١٢) حاجز زخرفى فى منزل سال وكامبوس بريو دى جانيرو .
(شكل ٥١٣) تفاصيل فى حواجز التراسات فى عمارات باركى كوينتا فى ريو دى جانيرو بالبرازيل (المهندس المعمارى لوسيو كوستا)

شكل ٥١٤

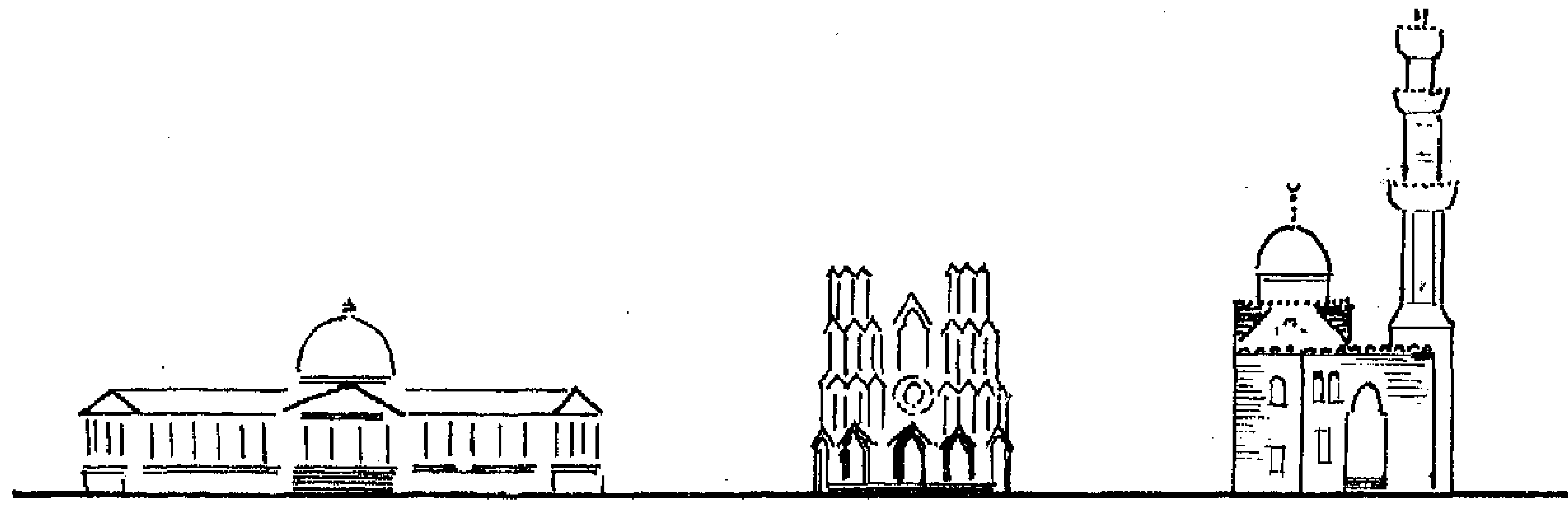


مخرمات خرسانية زخرفية — المهندس إدوارد ستون

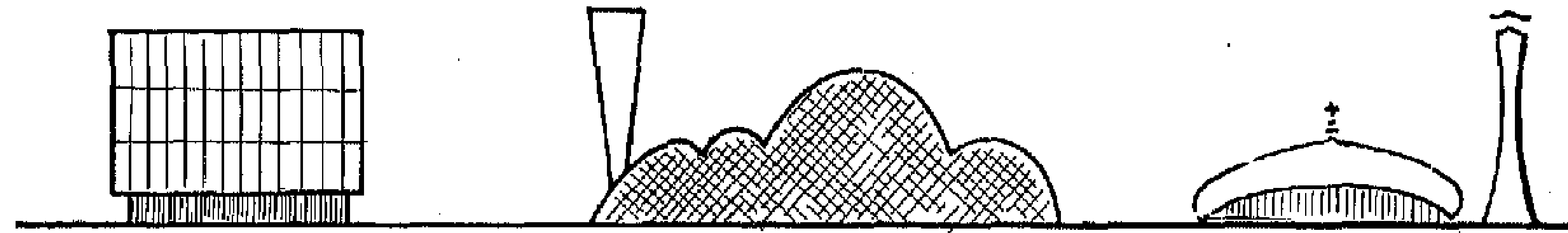
(شكل ٥١٤) منظور داخلى فى المكتبة الرئيسية فى بالو التو بكاليفورنيا.

(شكل ٥١٥) السفارة الأمريكية فى نيودلهى — واجهة أمامية.

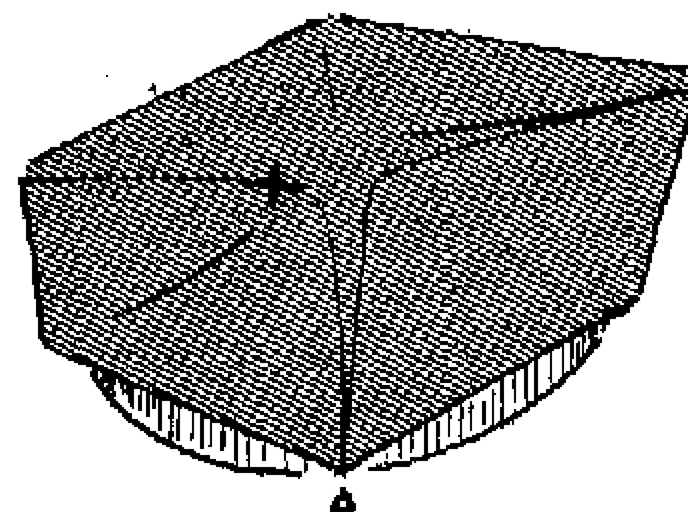
شكل ٥١٥

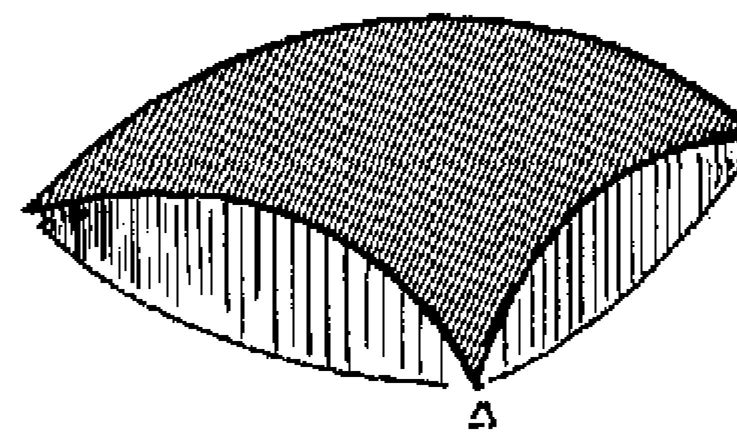


شكل ٥١٦



شكل ٥١٧



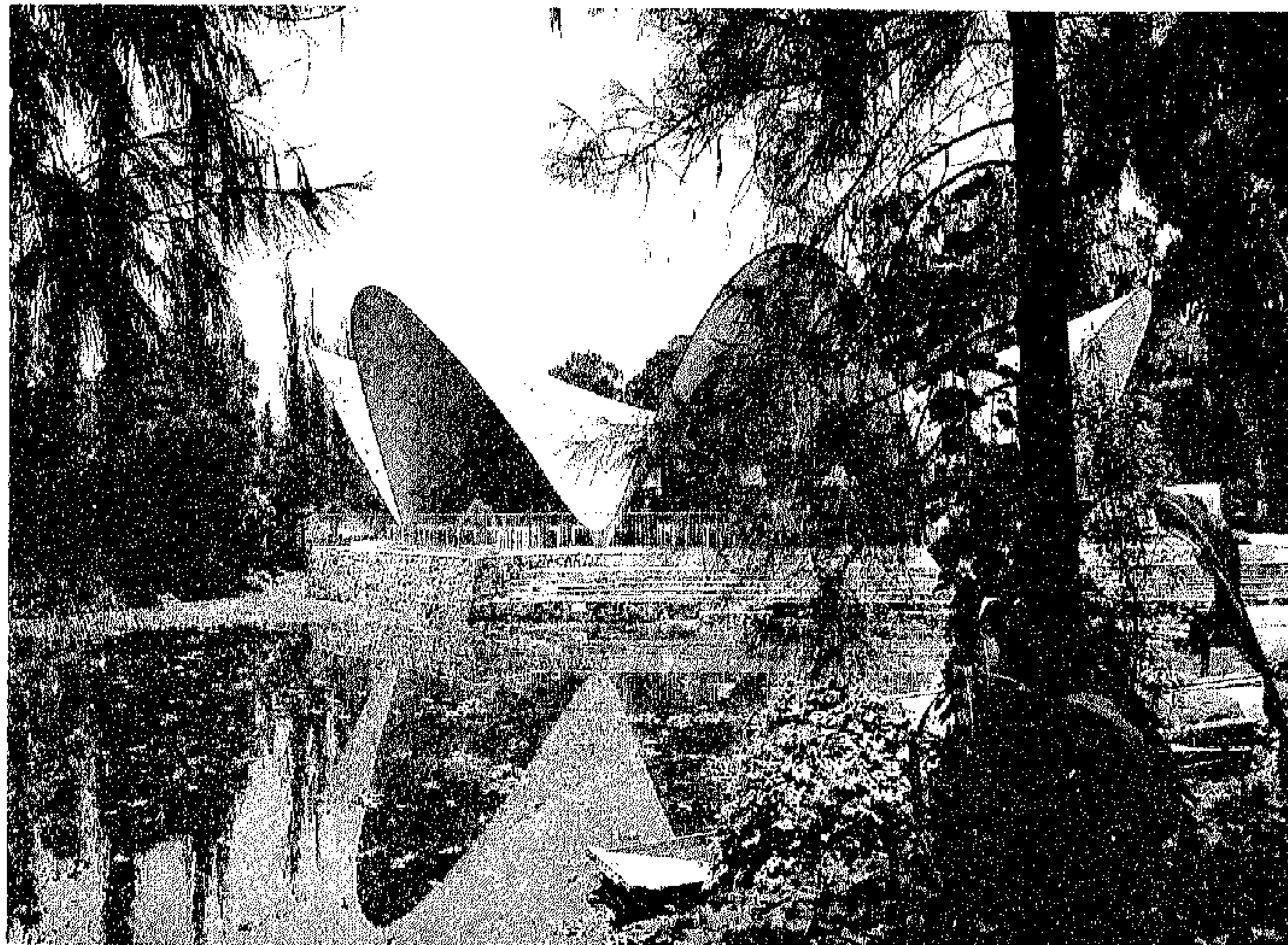


التعرف على إنتفاع المبنى

(شكل ٥١٦) سهولة التعرف بالتجربة على المبانى العامة والكنائس والجوامع بالطرز التاريخية . (شكل ٥١٧) الأشكال الحديثة بالخرسانة المسلحة لاتقترن عن طريق التجربة بانتفاعات معينة

شكل ٥١٨

شكل ٥١٩

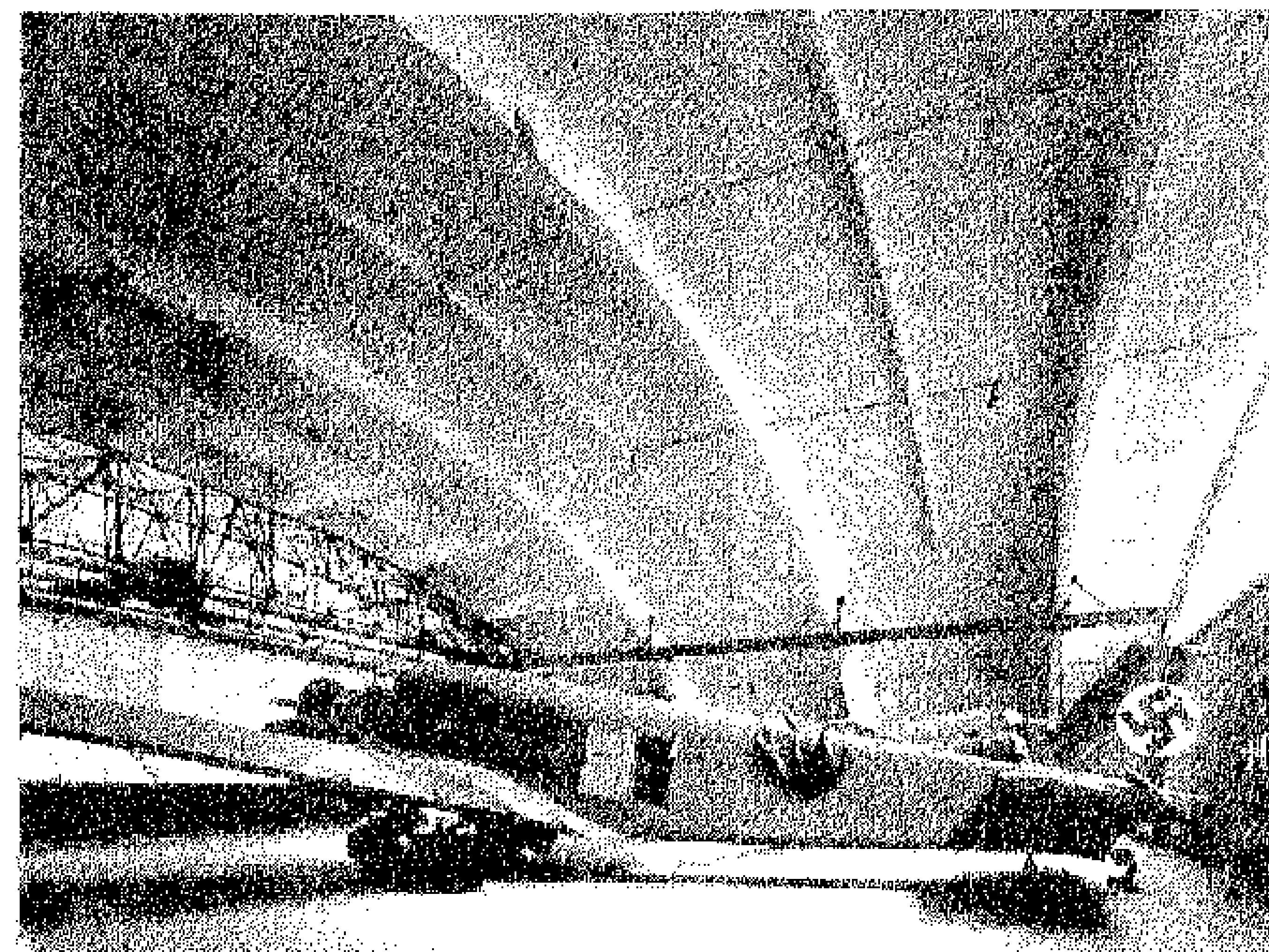


وسائل الإدراك البصرى للشكل — القطاعات

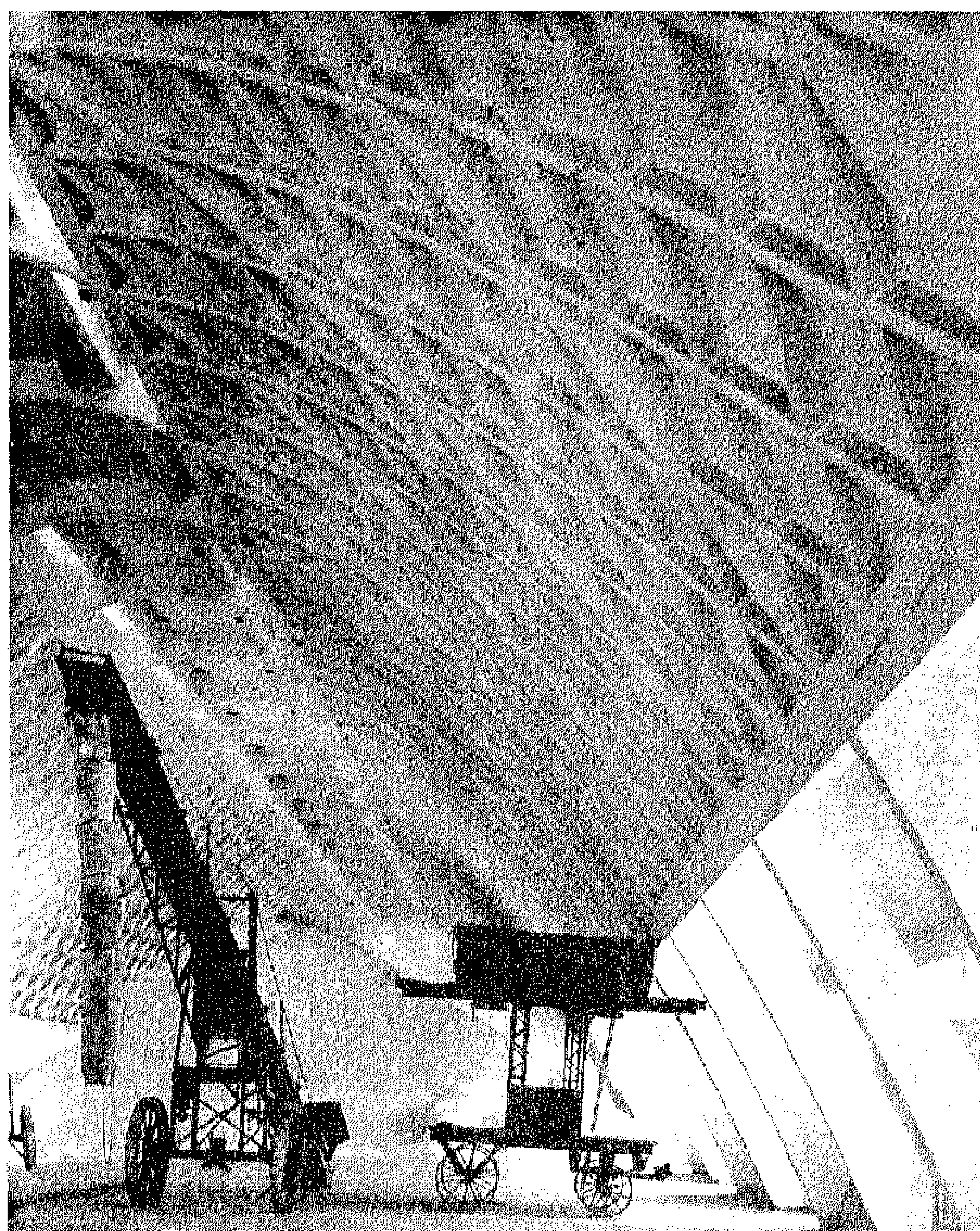
(شكل٥١٨) صالة مسرح معهد ماساتشوستس للتكنولوچيا بكامبردج ماساتشوستس .

(شكل ٥١٩) مطعم لويس ماذانتيالس بمكسيكو للمهندس كاندلا وشركاه عام ١٩٥٨ .

شكل ٥٢٠



شكل ٥٢١

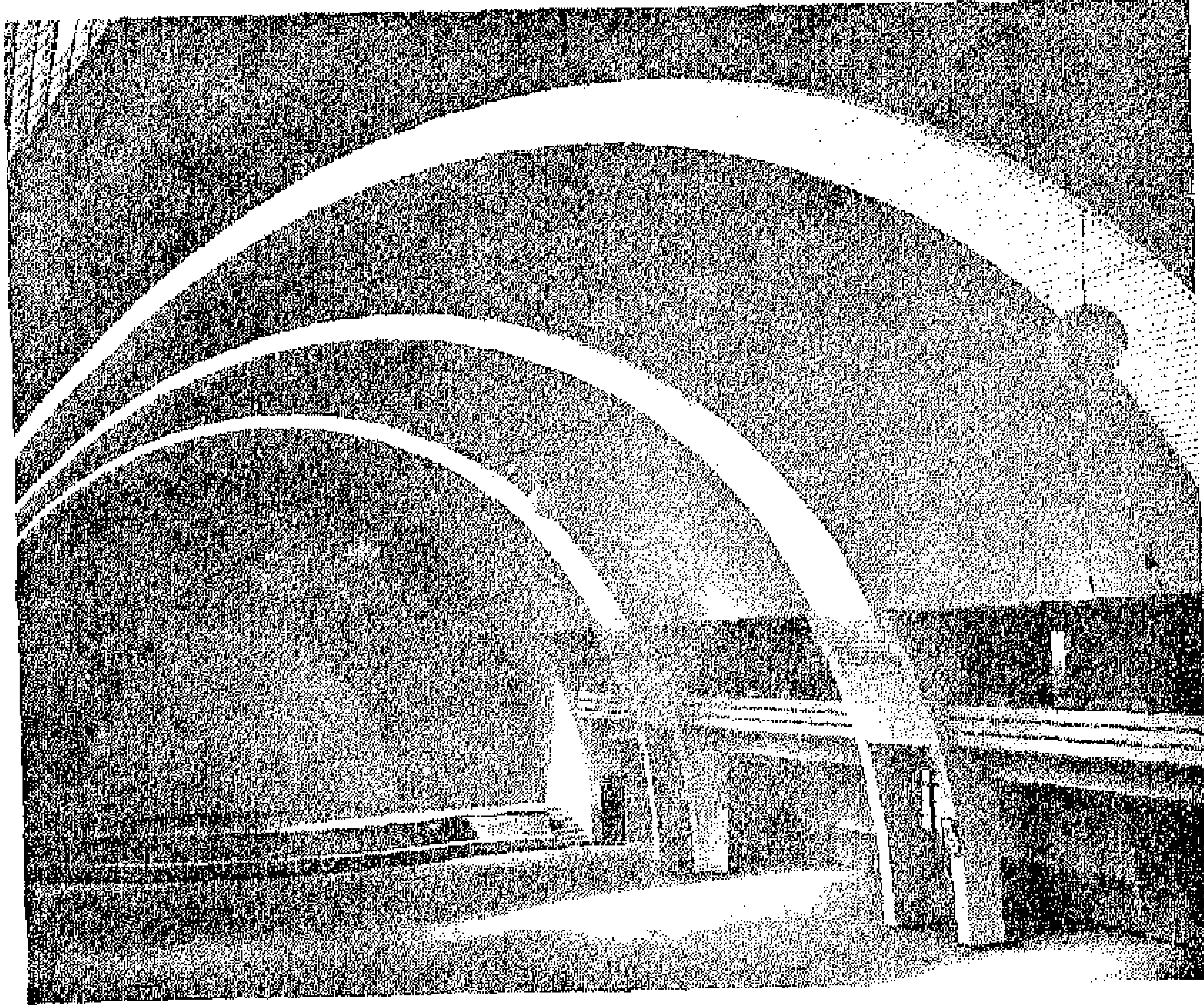


وسائل الإدراك البصرى للشكل

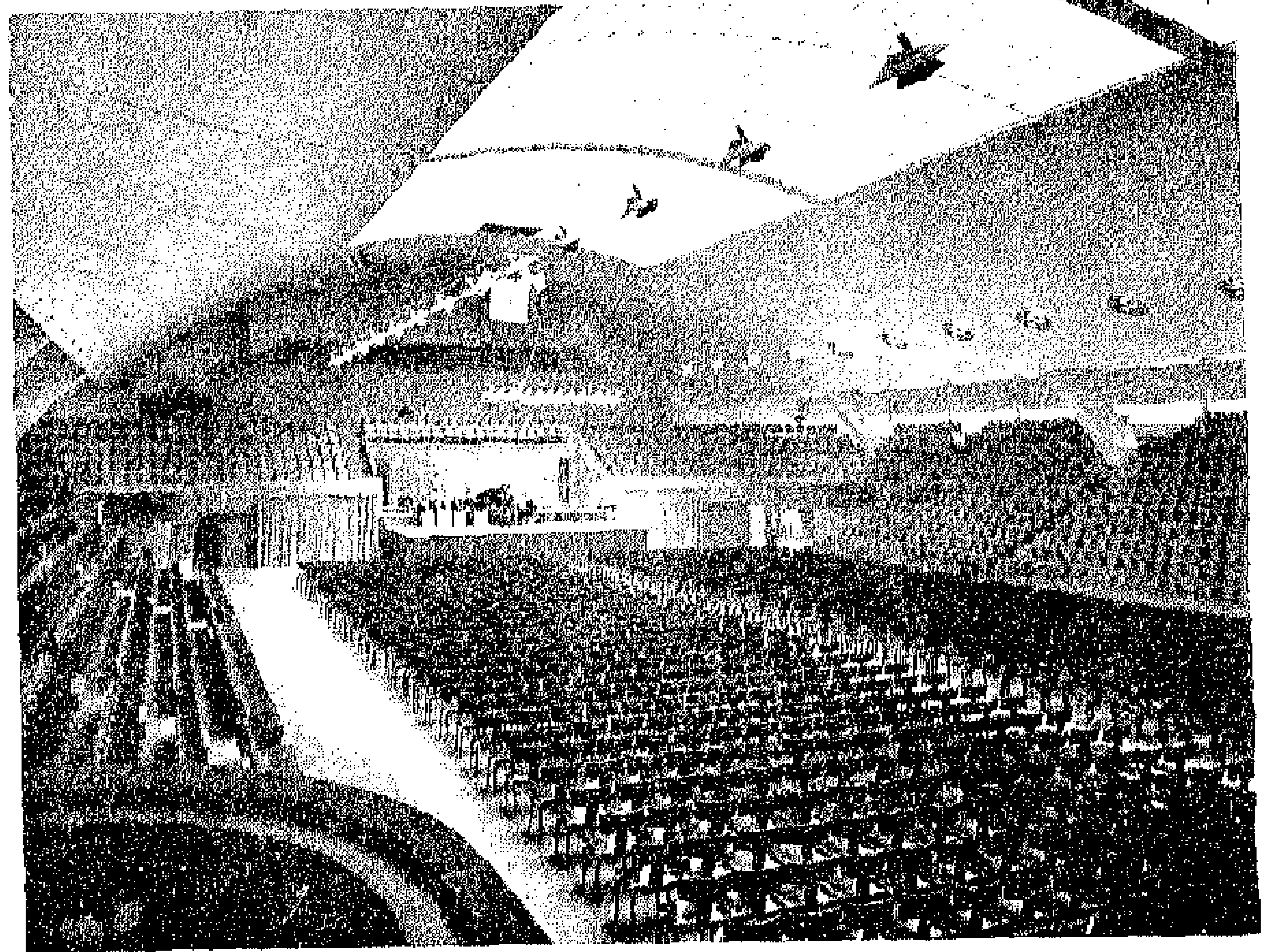
(شكل ٥٢٠) حظيرة طائرات فى كولونيا بألمانيا .— منظور داخلى يوضح الهياكل والأعصاب كرواسم السقف (الإنشائى ديكرهوف وويدمان) .

(شكل ٥٢١) مخزن الملح الحكومى فى تورتونا بإيطاليا المهندس الإنشائى بيير لويجى نيرفى .

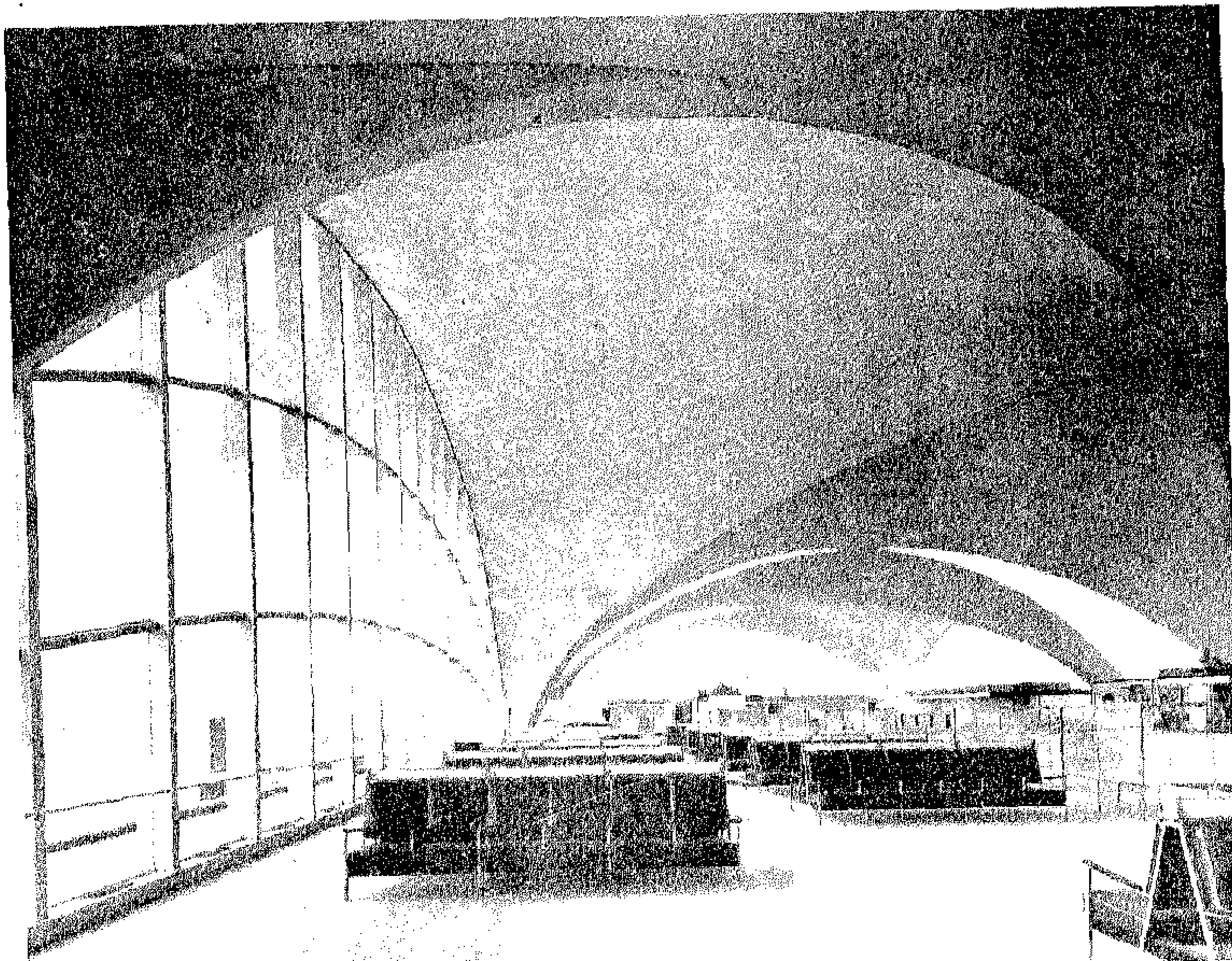
شكل ٥٢٣



شكل ٥٢٢



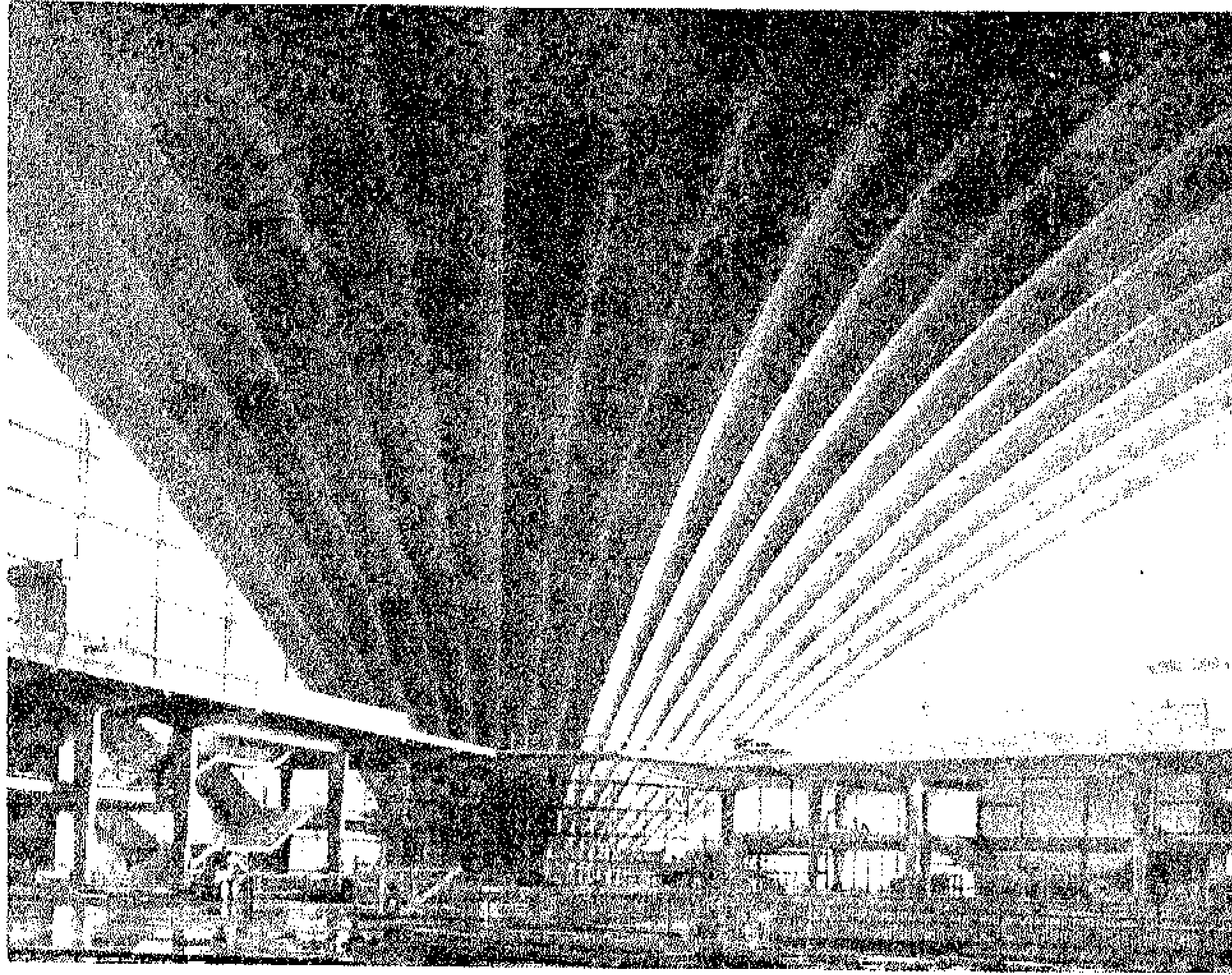
شكل ٥٢٤

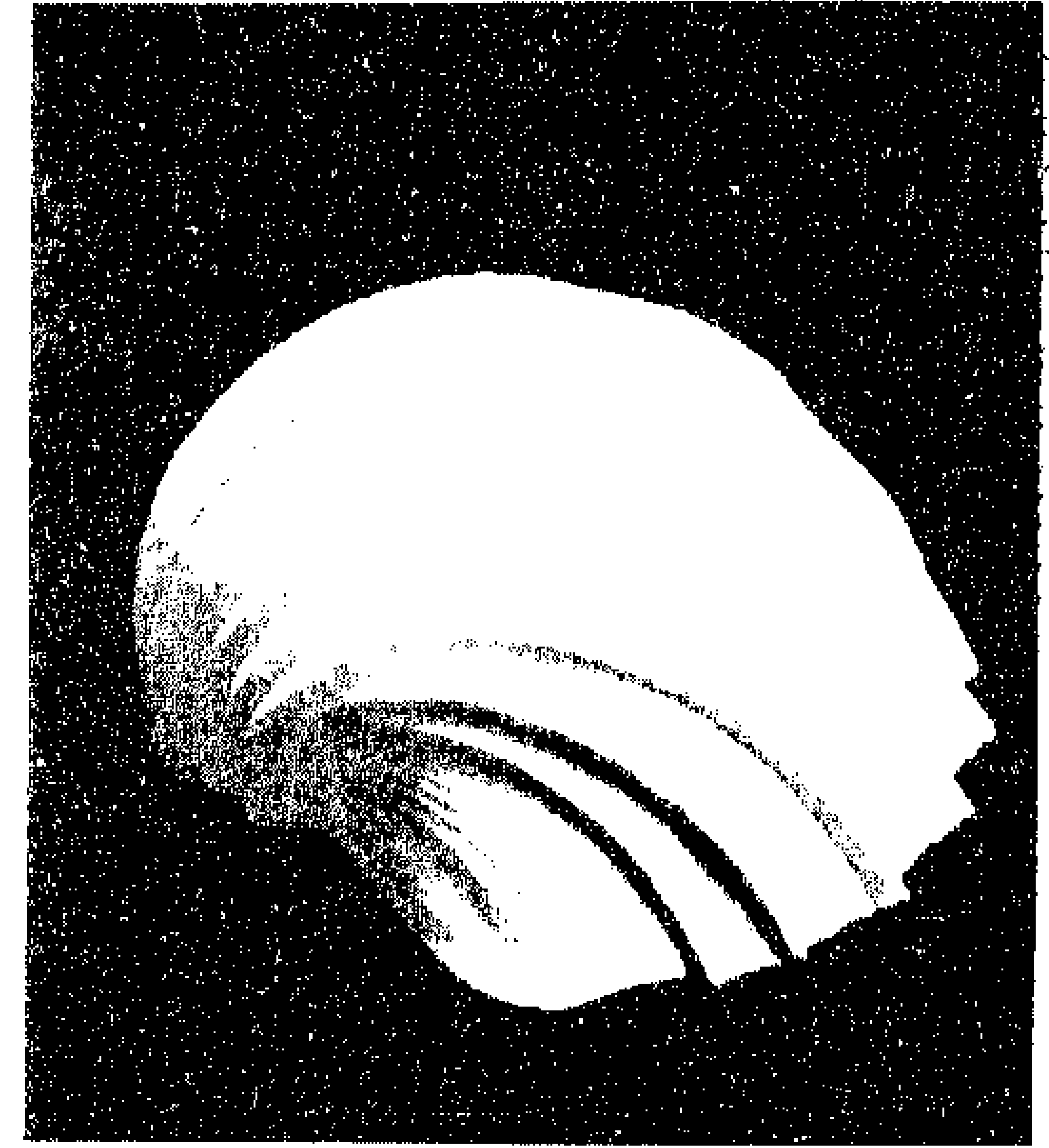


وسائل الإدراك البصرى للشكل — الفتحات الزجاجية

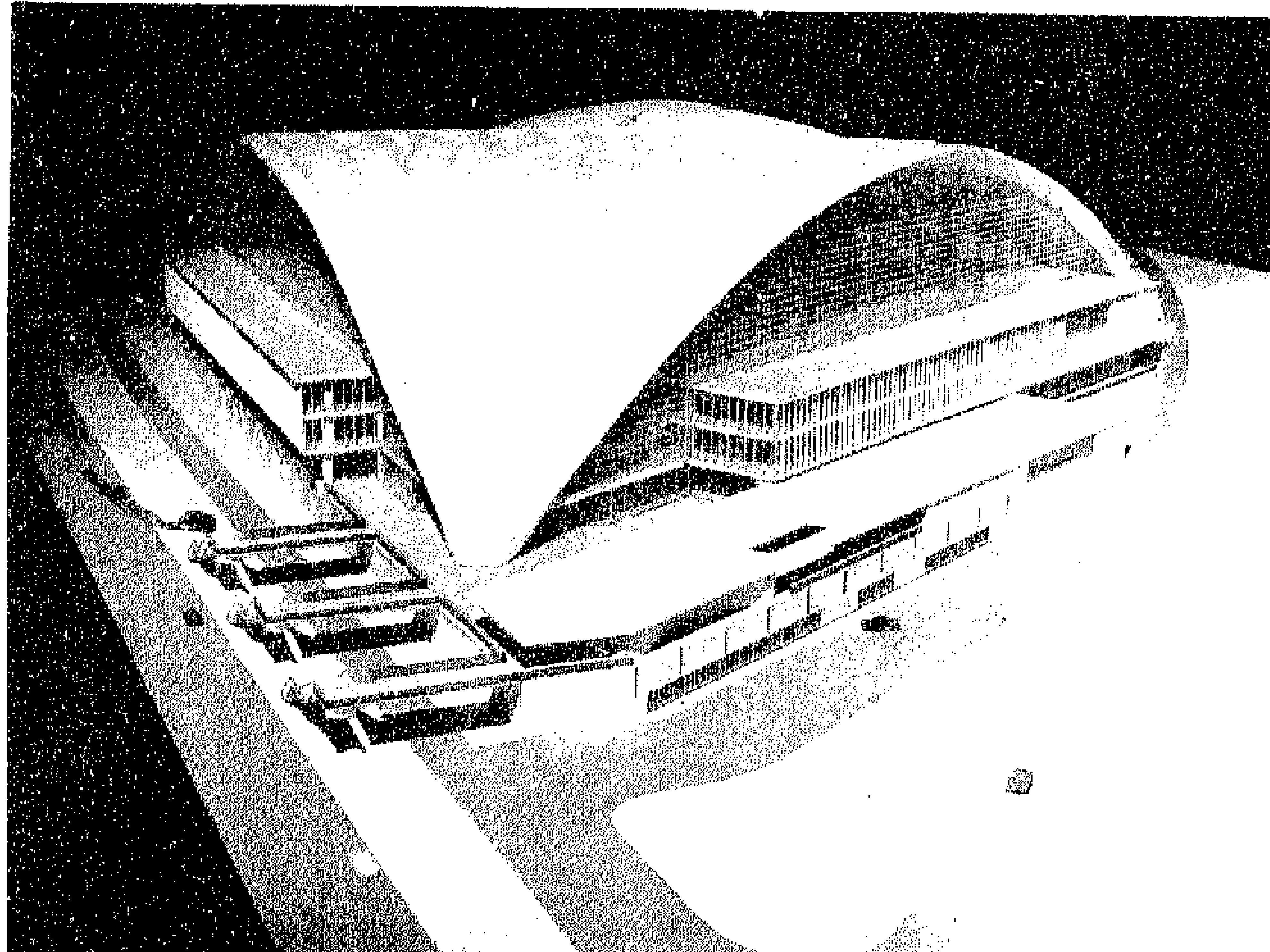
(شكل ٥٢٢) صالة K.B. بكوبنهاجن — المعمارى أوستنفيلد جونسون .
(شكل ٥٢٣) السوق المغطى فى ڤيڤيه بسويسرا (المعماريون شوبنجر و توبنجى وجيتاز) .
(شكل ٥٢٤) صالة مطار مدينة سانت لويس بأمريكا (المعماريون ياماساكى ولاين وبر وشركاهم) .

شكل ٥٢٥





شكل ٥٢٦



وسائل الإدراك البصرى للشكل — التموجات

(شكل ٥٢٥) قصر المركز القومى للصناعة والتكنولوجيا C.I.N.T – باريس عام ١٩٥٧ — ٥٨ .

(شكل ٥٢٦) نموذج للقصر مبينا تداخل الكتل المحيطة بالصالة الوسطى مما عطل التأثير الموحد للشكل العام .

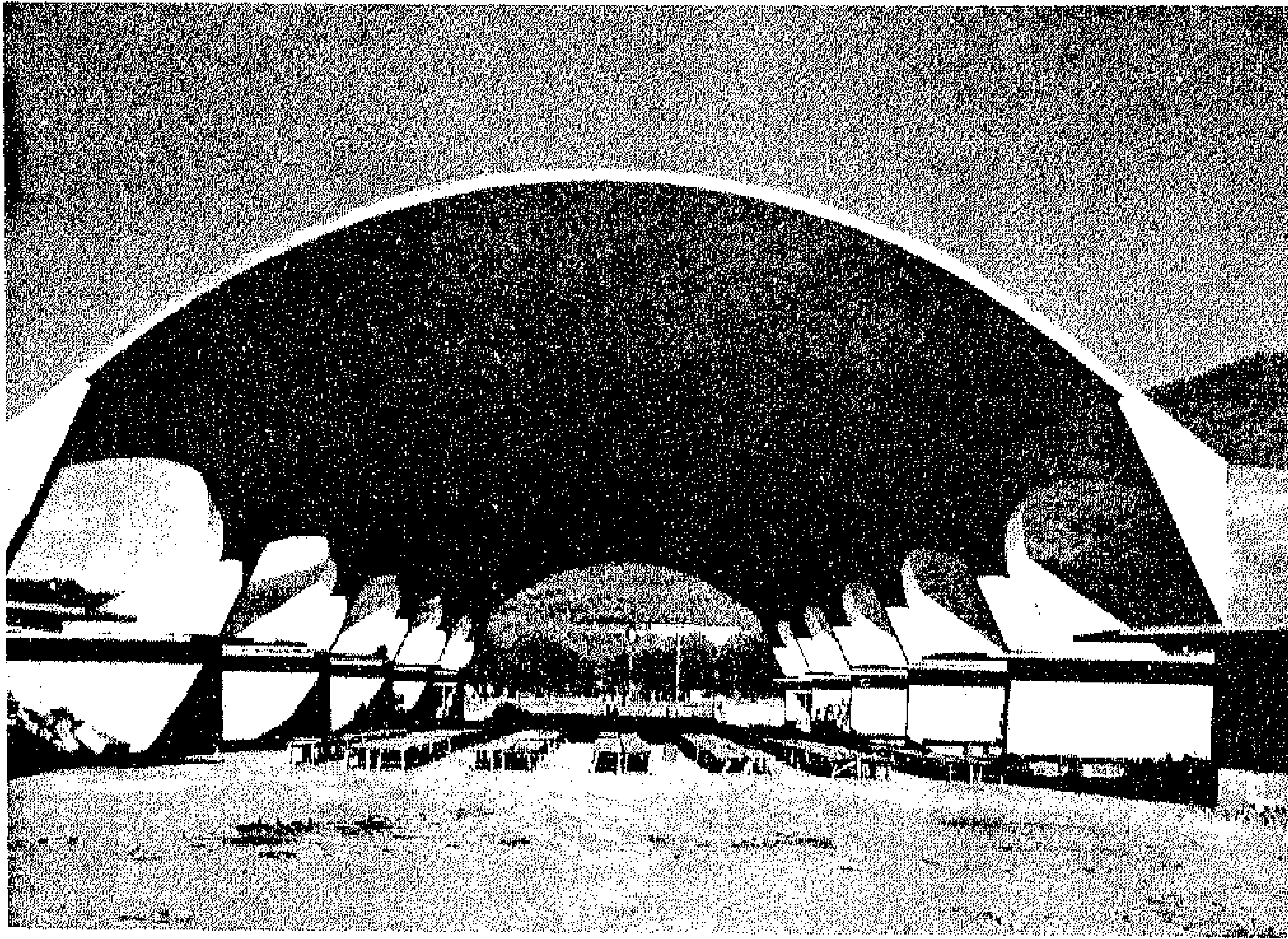
شكل ٥٢٧



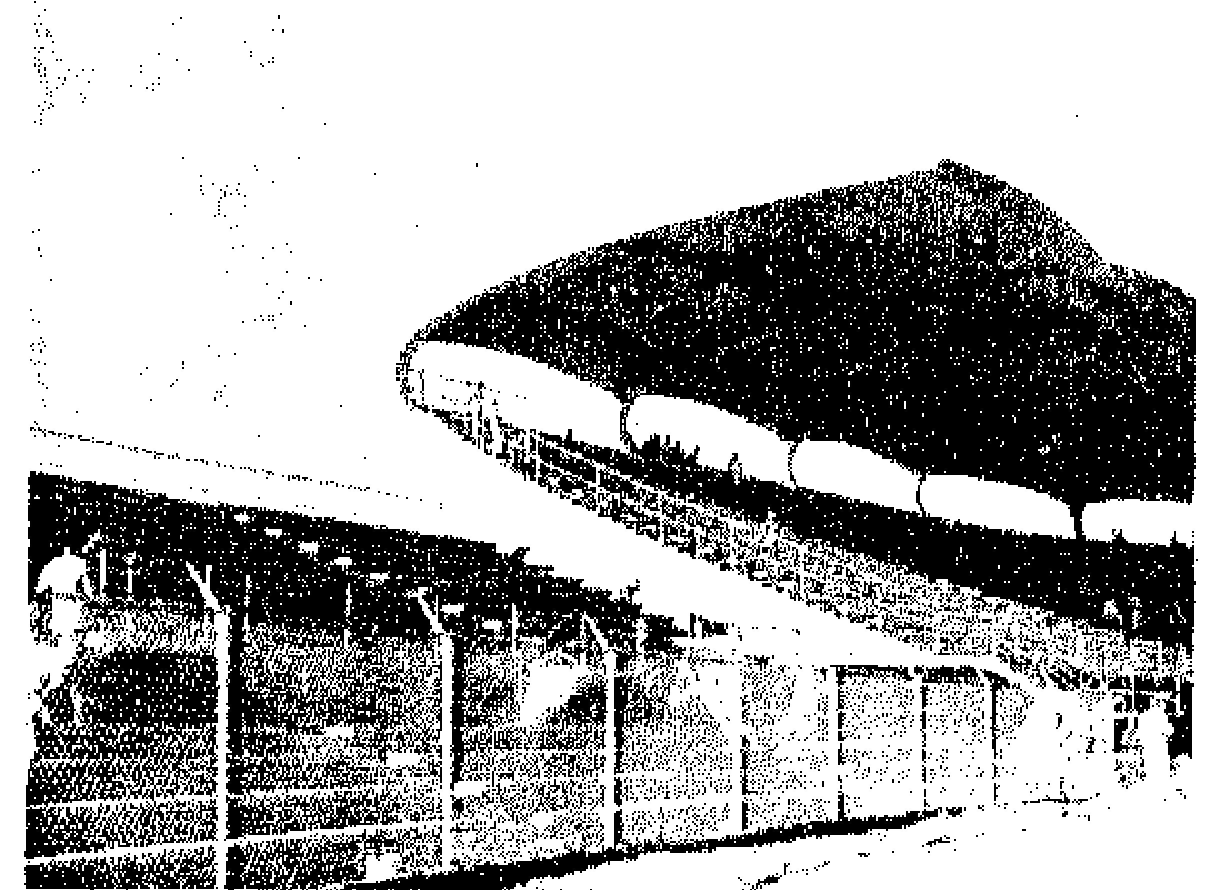
وسائل الإدراك البصرى للشكل – التموجات

(شكل ٥٢٧) قصر الرياضة بروما – إيطاليا – منظور داخلى أثناء الحفلات الأولمبية .

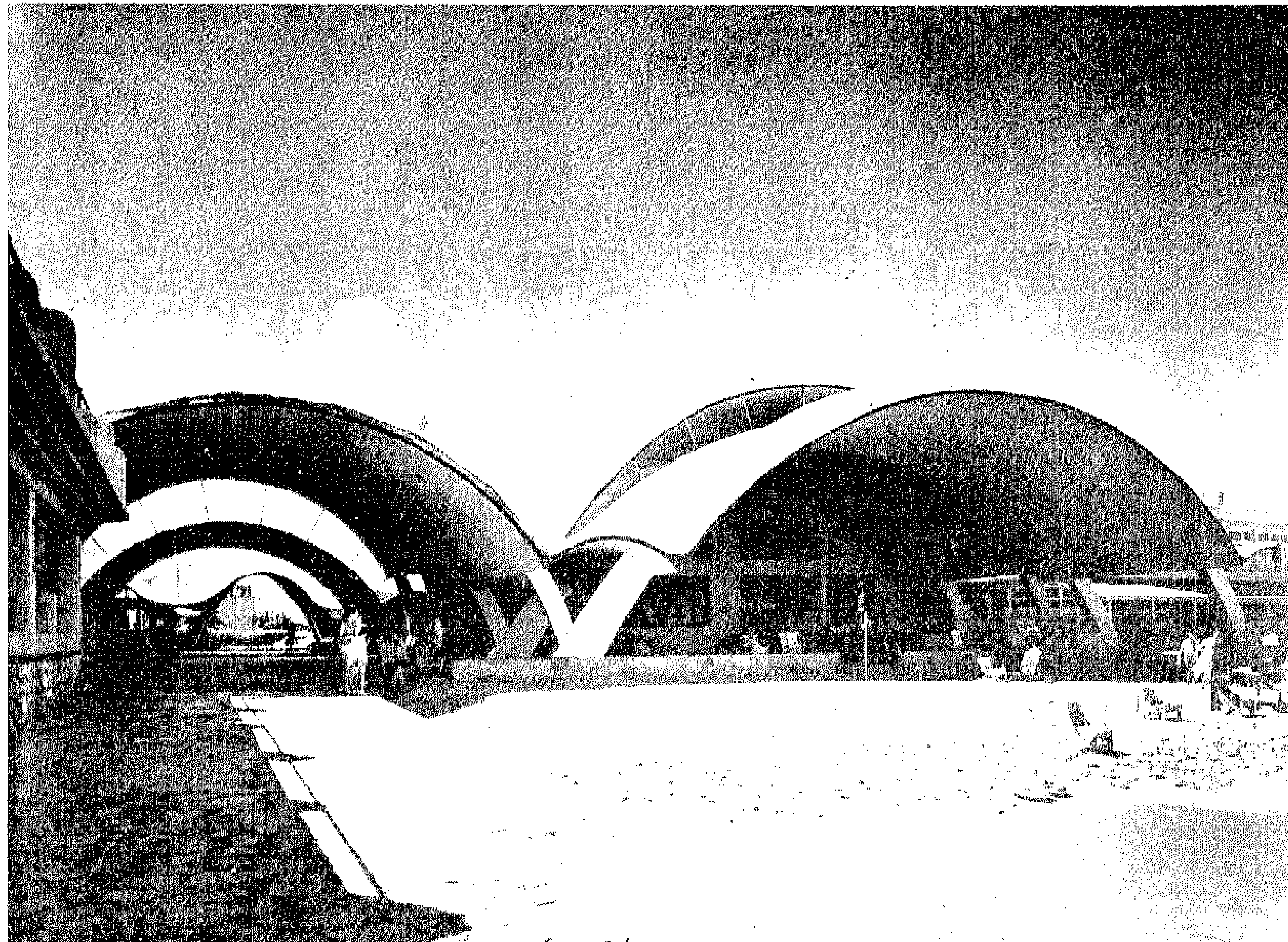
شكل ٥٢٩



شكل ٥٢٨



شكل ٥٣٠



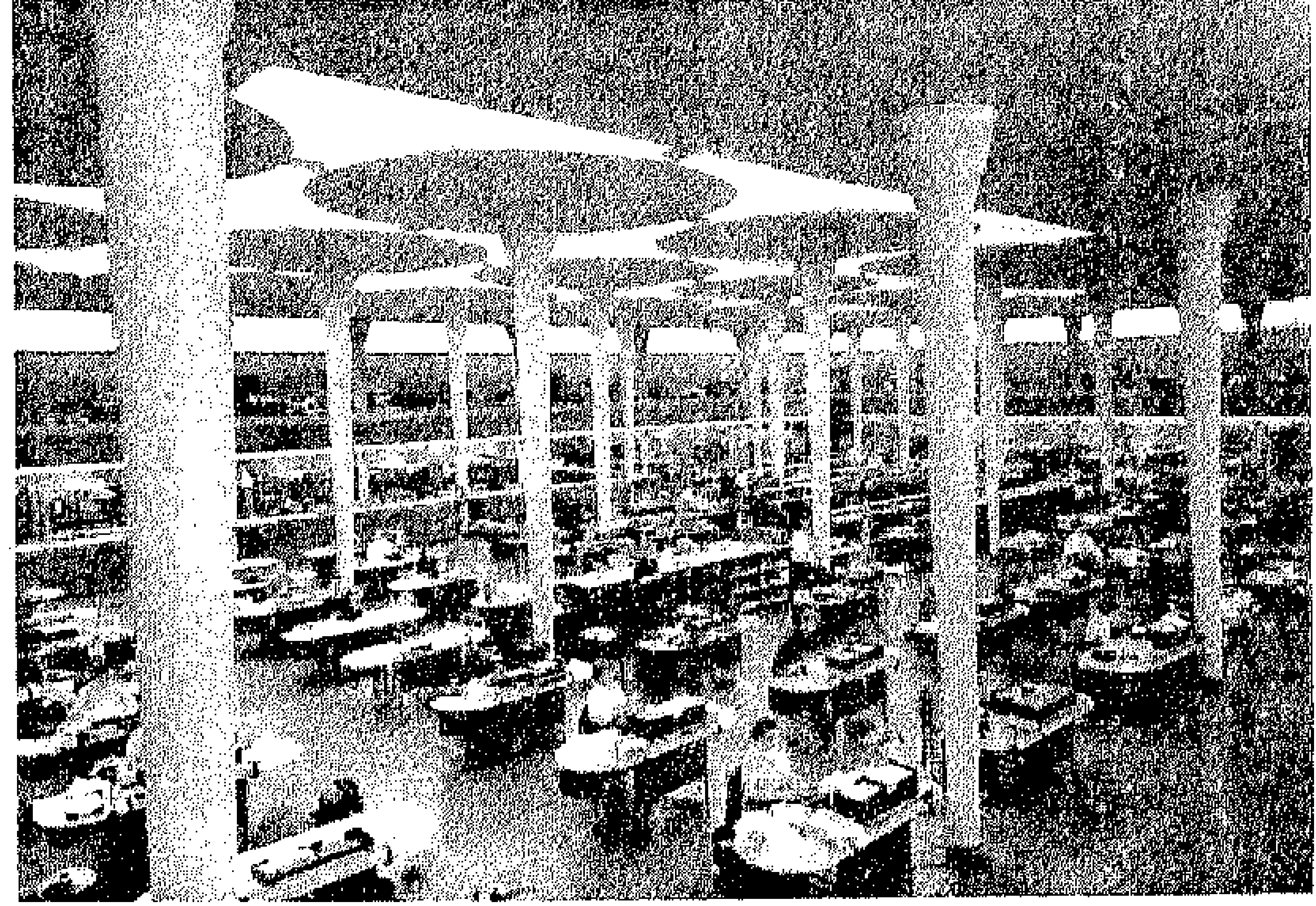
الخرسانية كمادة بلاستيكية متماسكة — الاتجاه الإنشائى

(شكل ٥٢٨) ملعب البيسبول بمدينة قرطاجنة بكولومبيا .
(المهندسون المعماريون سولانو وأورتيجا وشركاهم والمهندس الإنشائى ج . جنزالز) .

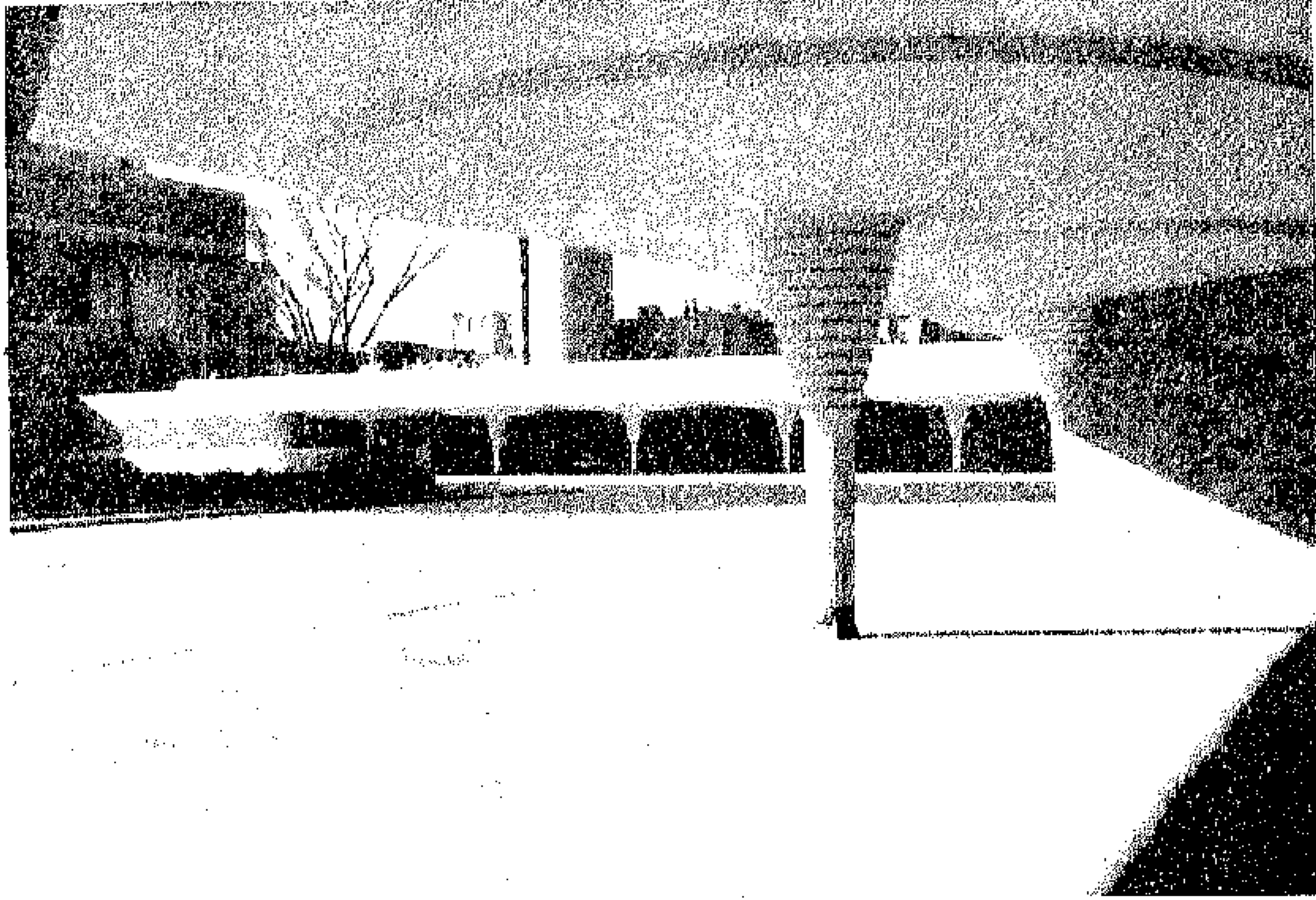
(شكل ٥٢٩) السوق المغطاة فى مدينة بسكيا بإيطاليا .
(المهندسون المعماريون بريزى وجورى وريتشى وسافوال) .

(شكل ٥٣٠) نادى نوتيكو بهافانا بكوبا (المهندس المعمارى ماكس بورجس) .

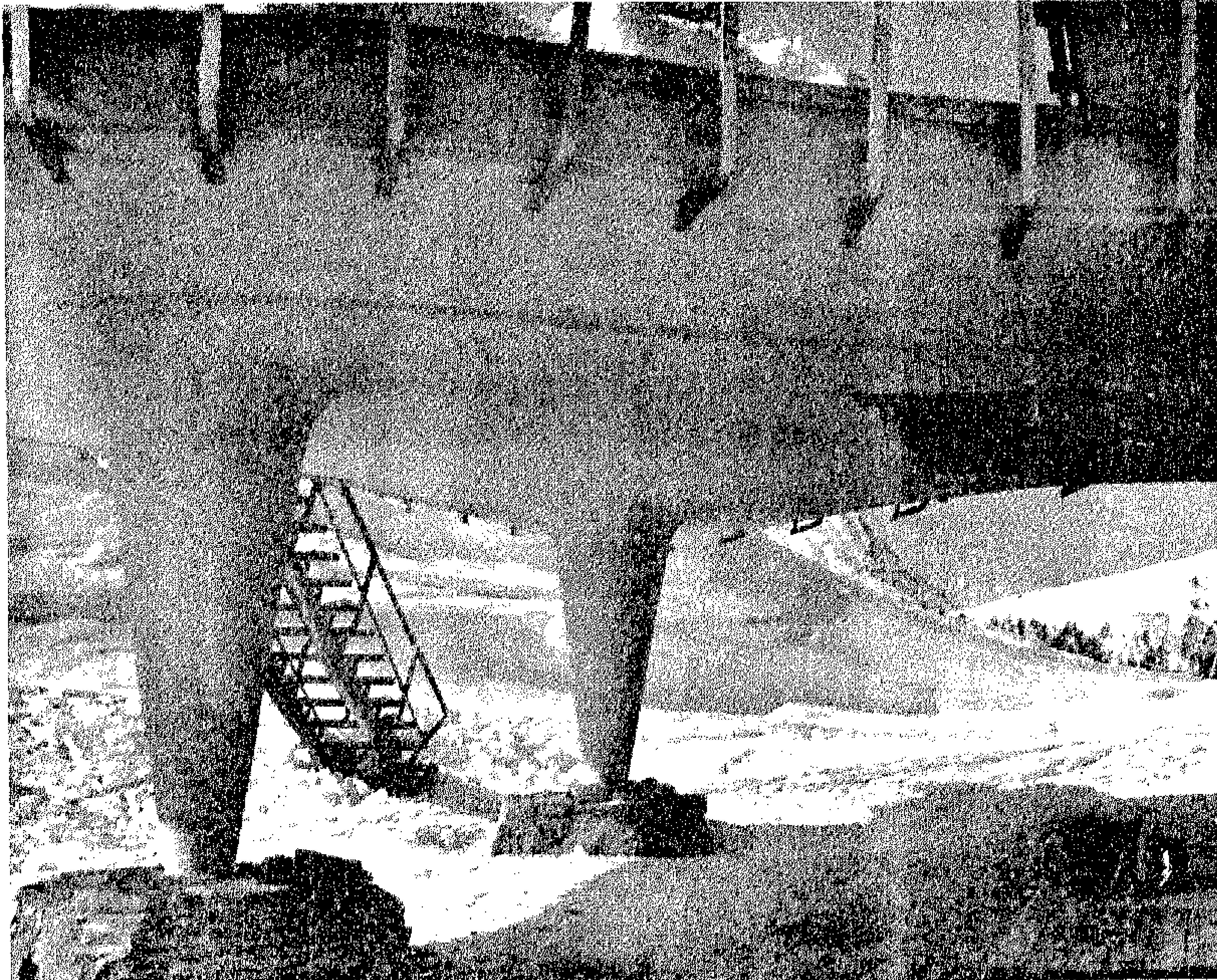
شكل ٥٣١



شكل ٥٣٢



شكل ٥٣٣



الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة

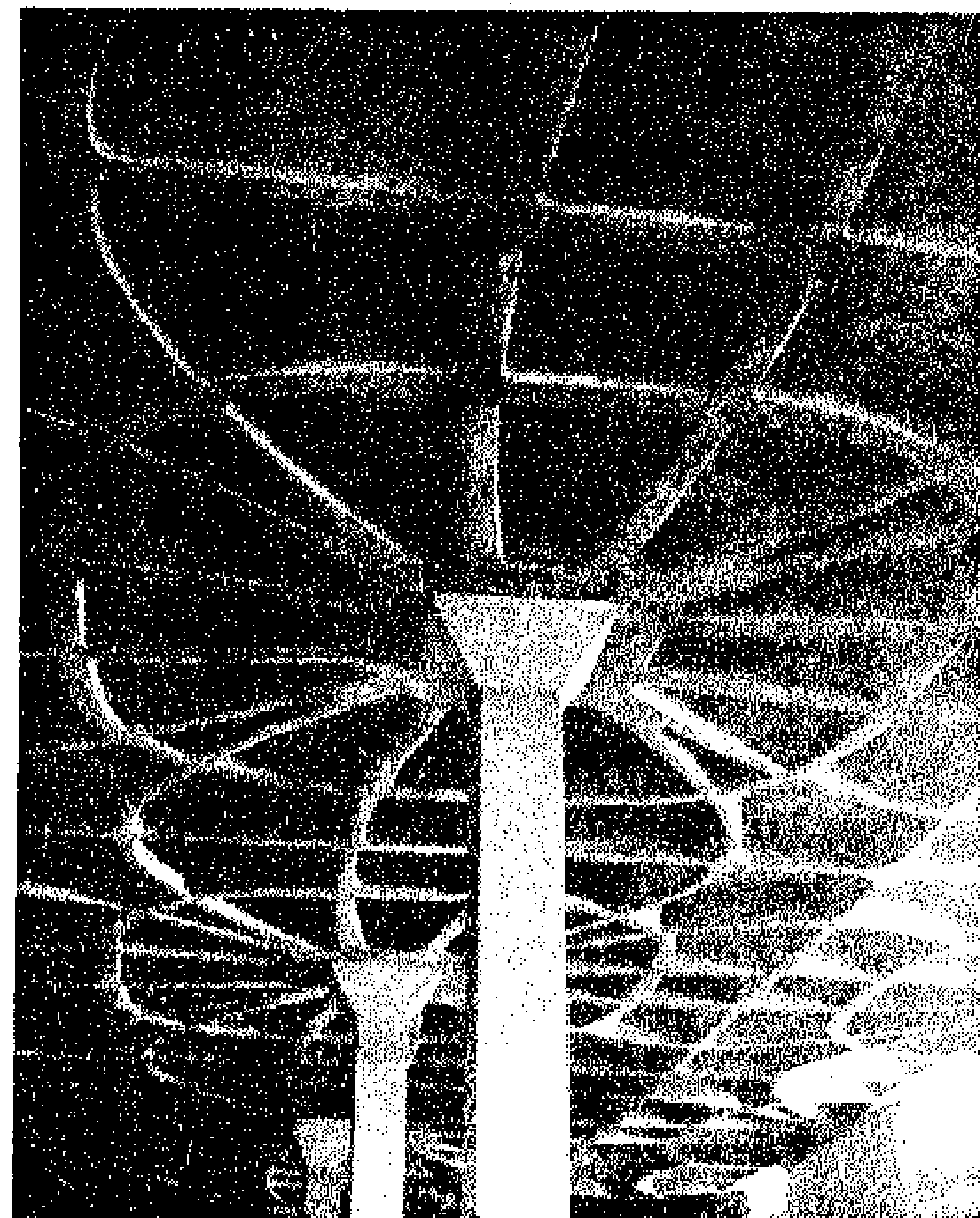
اتصال الأعمدة بالبلاطات :

(شكل ٥٣١) – صالة المكاتب بمركز شركة جونسون واكس بمدينة راسين بولاية وسكنصن .

(شكل ٥٣٢) – سقيفة انتظار سيارات بمركز شركة جونسون واكس .

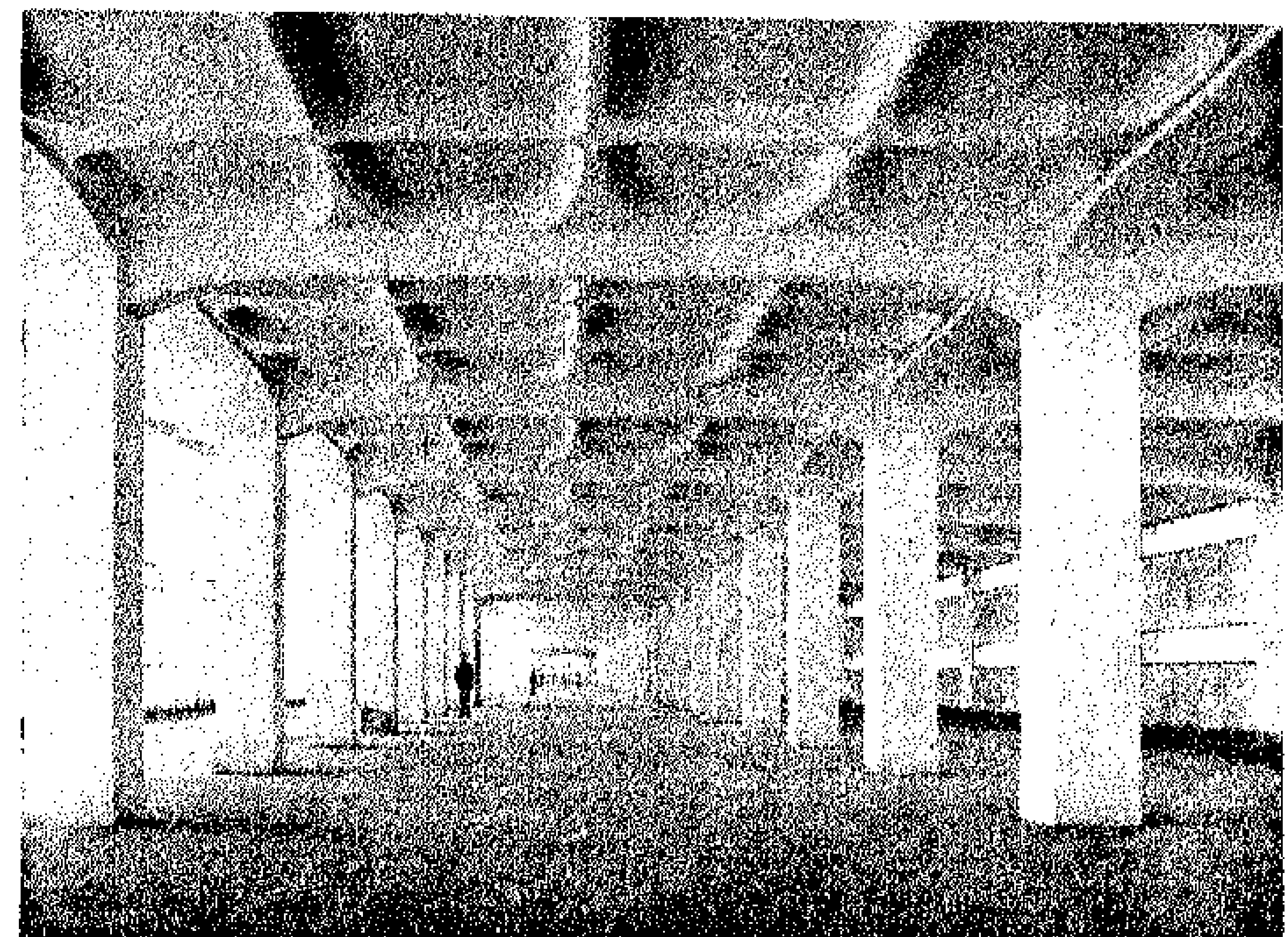
(شكل ٥٣٣) – نادى الانزلاق على الجليد فى بحيرة نيرو بإيطاليا .

شكل ٥٣٤



شكل ٥٣٦

شكل ٥٣٥



الخرسانة كمادة بلاستيكية —

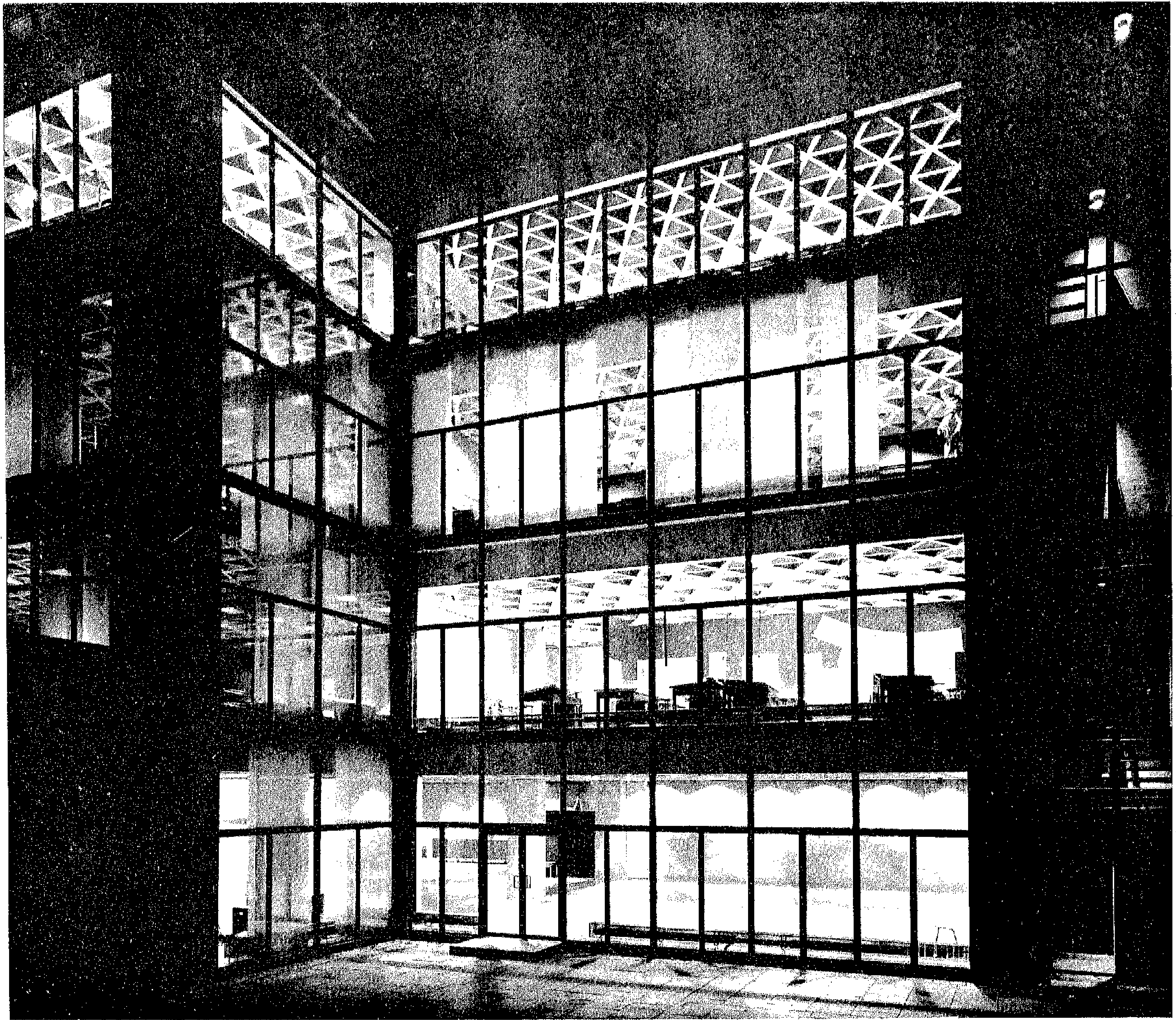
أعصاب الأسطح الفعالة

المهندس / بيير لويجى نيرفى

(شكل ٥٣٤) قبة صالة الرقص بشيانسيانو.

(شكل ٥٣٥) مصانع الطباق فى بولونيا بإيطاليا.

(شكل ٥٣٦) بدروم مصانع جاتى للصوف فى روما.



شكل ٥٣٧

الخرسانة كمادة بلاستيكية —

أعصاب الأسطح الفعالة

المهندس المعمارى / لويس كان

(شكل ٥٣٧) مركز التصميم جامعة ييل — نيوهافن كنكتكت .

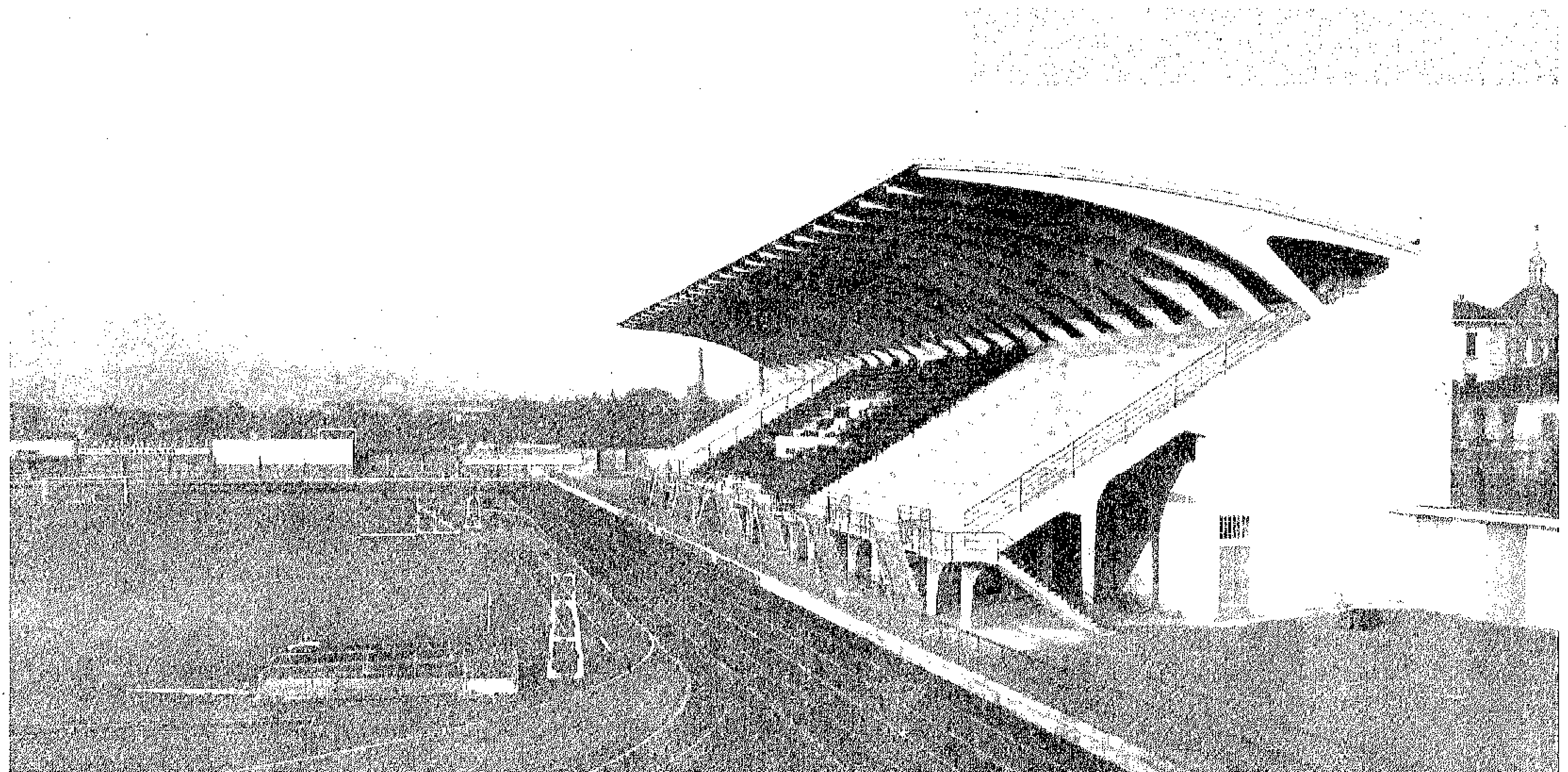
شكل ٥٣٨



الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة —

الوحدات الكابولية

(شكل ٥٣٨) – استاد حلقة سباق الخيل في مدريد–المهندس الإنشائي إدوارد تروخا .
(شكل ٥٣٩) – مدرجات استاد البلدية في فلورنسا – المهندس الإنشائي بيير لويجي نيرفي .

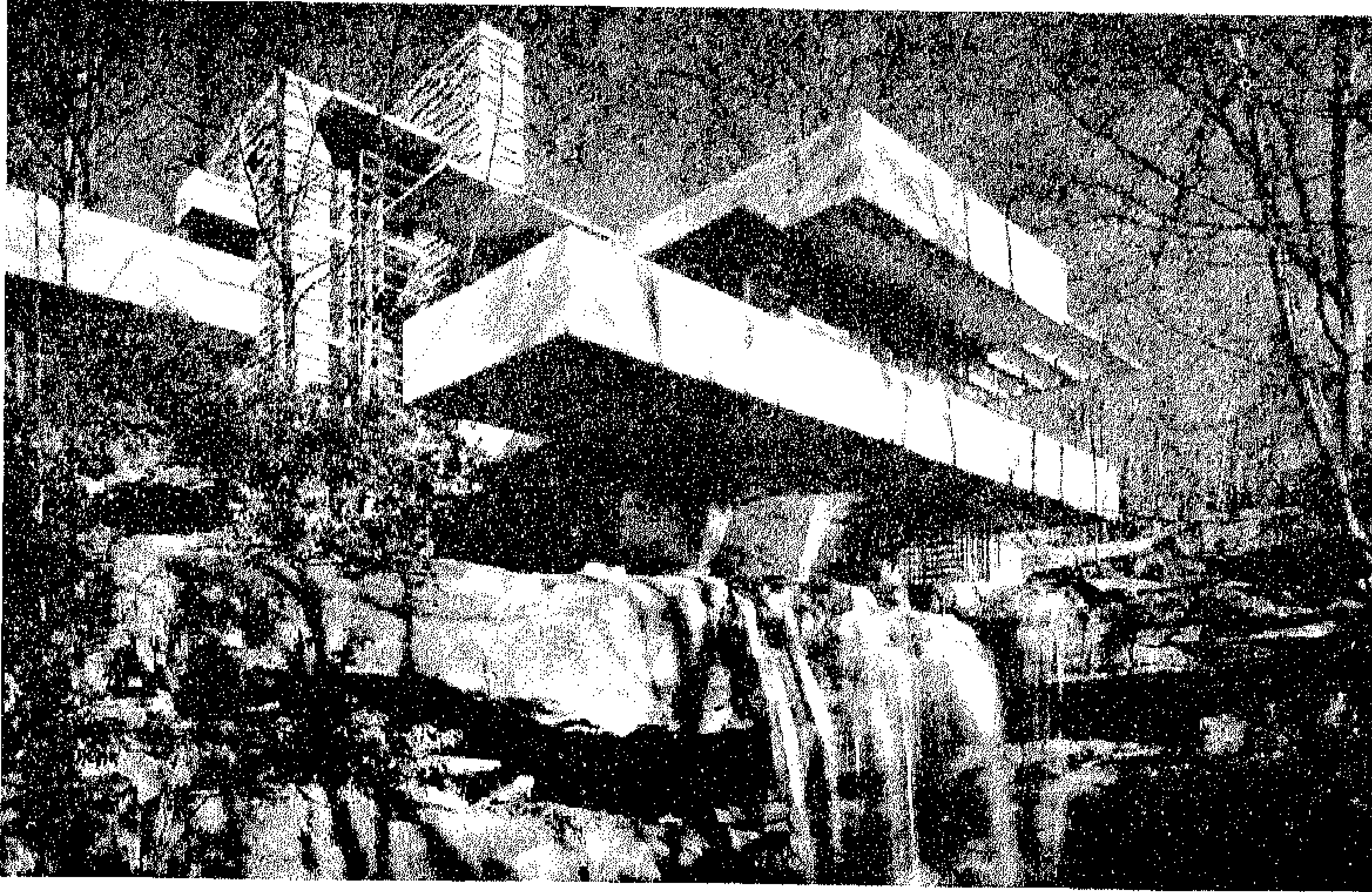


شكل ٥٣٩

شكل ٥٤٠



شكل ٥٤١



الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة – الوحدات الكابولية

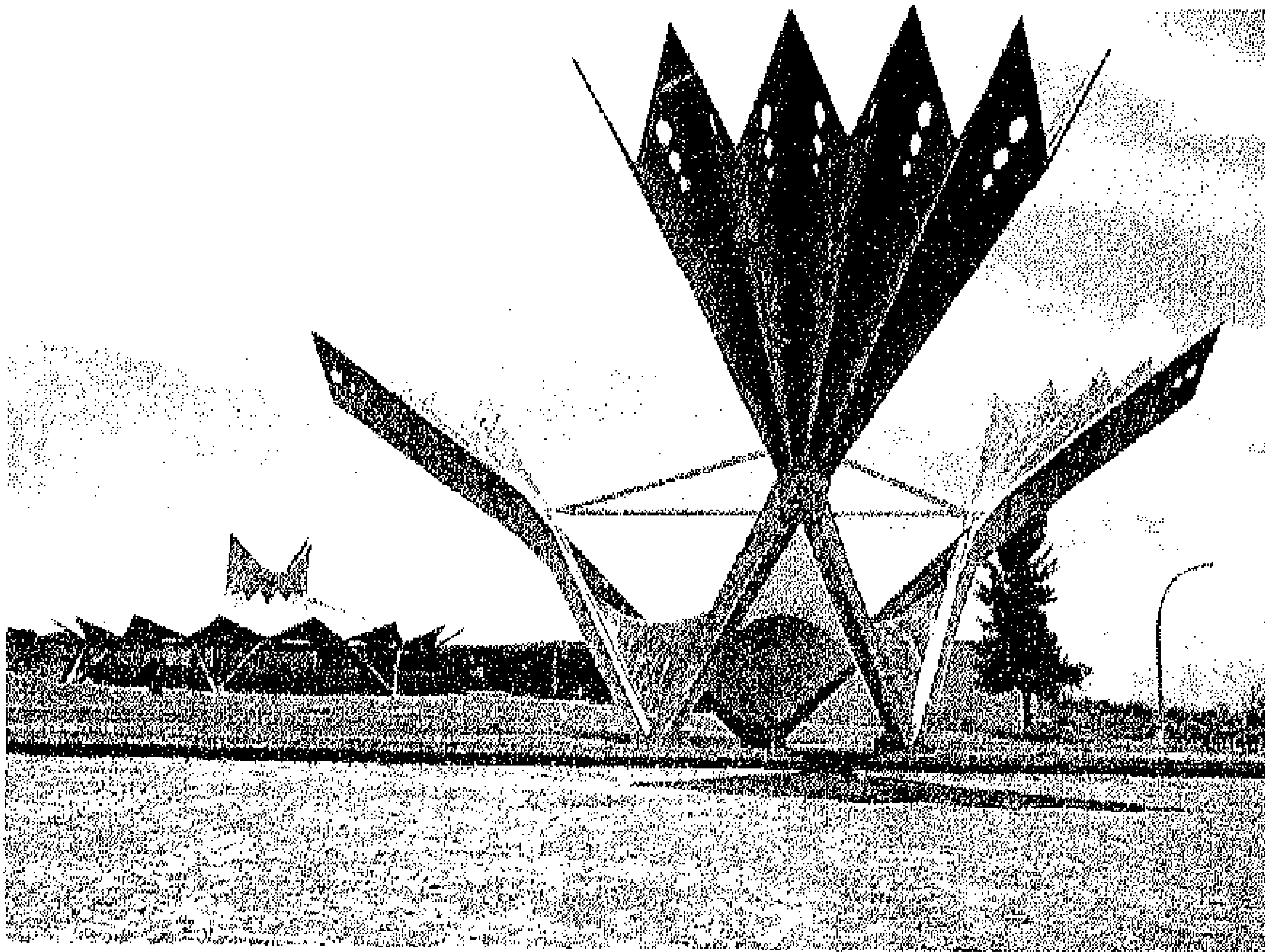
(شكل ٥٤٠) – محطات صيانة الأتوبيسات فى بوجوتا بكولومبيا . (المهندسان المعماريان سولانو وأورتيجا) .

(شكل ٥٤١) – منزل ادجار كاوفمان فى مدينة بيرون بينسلفانيا سنة ١٩٣٦ – المهندس المعمارى فرانك لويد رايت .

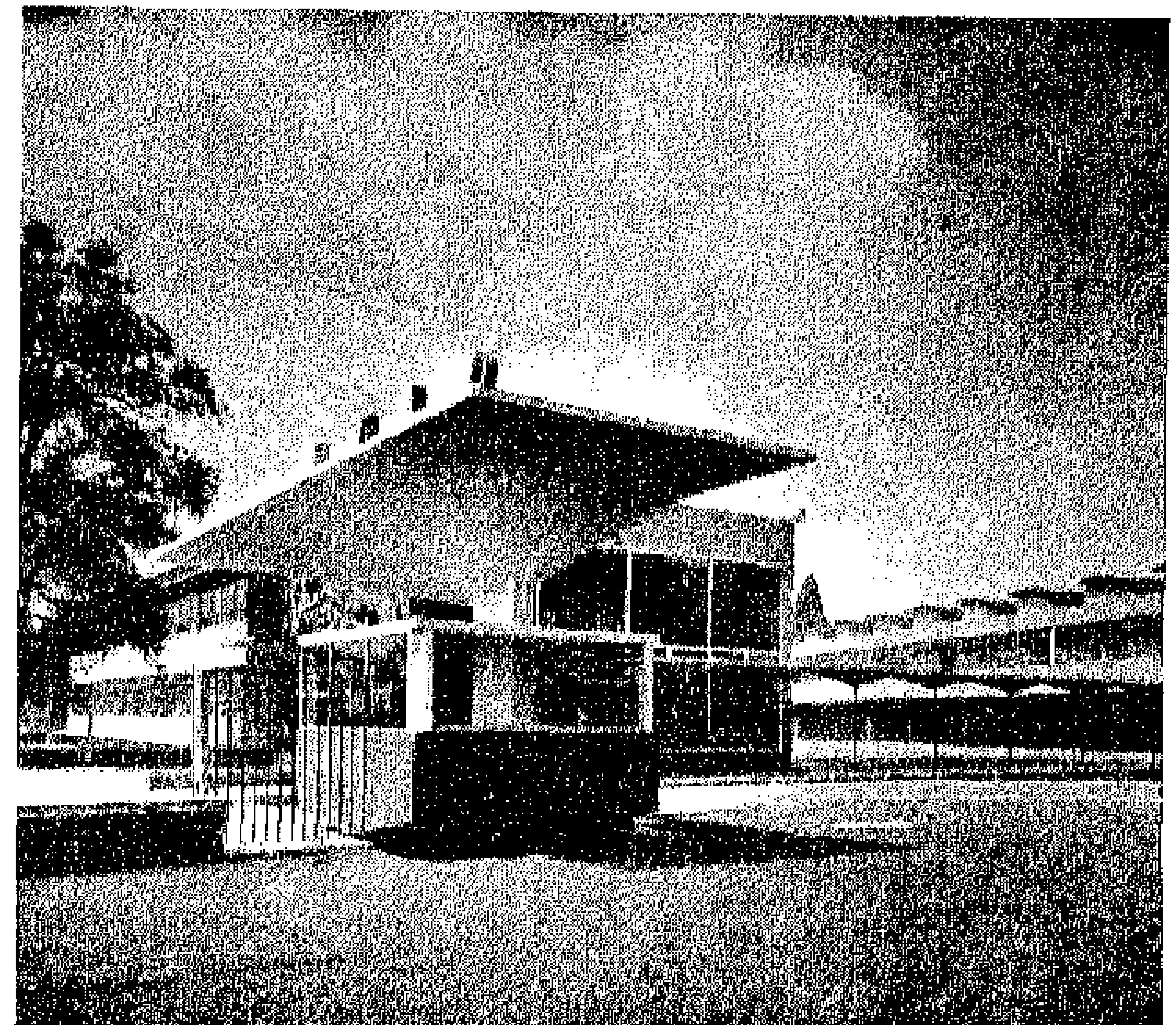
(شكل ٥٤٢) – علامة مميزة بارتفاع ١٠و٥ متر فى كويرناڤاكا من تصميم فيلكس كاندلا

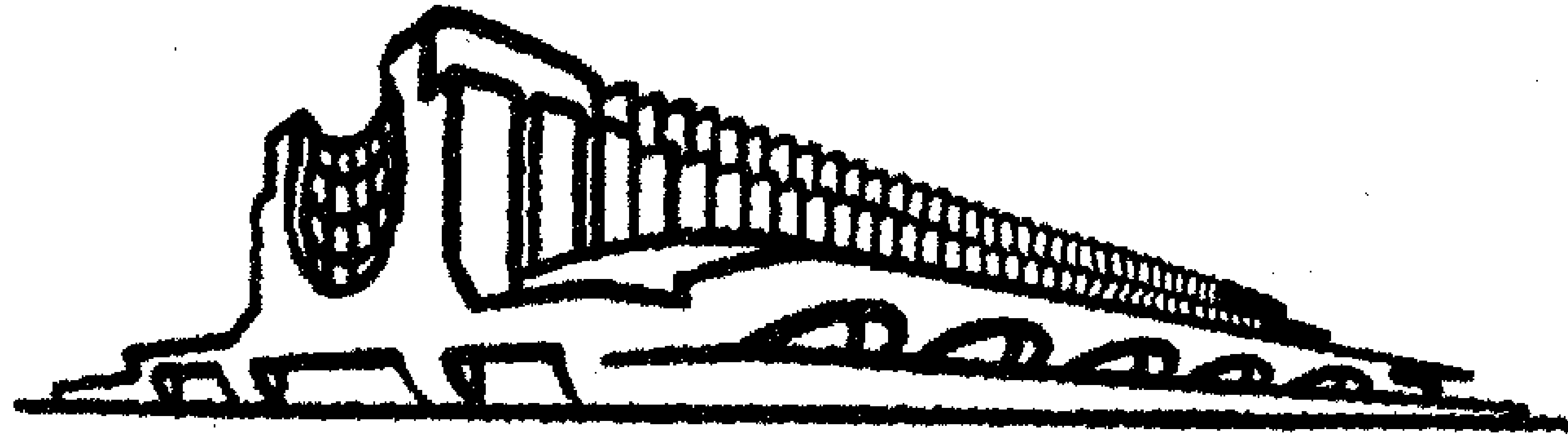
(شكل ٥٤٣) – سقيفة كابولية من أربعة قطاعات زائدية مكافئة فوق غرفة الحارس فى معامل سيبا بمكسيكو .
(المهندس المعمارى أ . بريتو بمكسيكو . والإنشائى كاندلا) .

شكل ٥٤٢



شكل ٥٤٣





شكل ٥٤٤



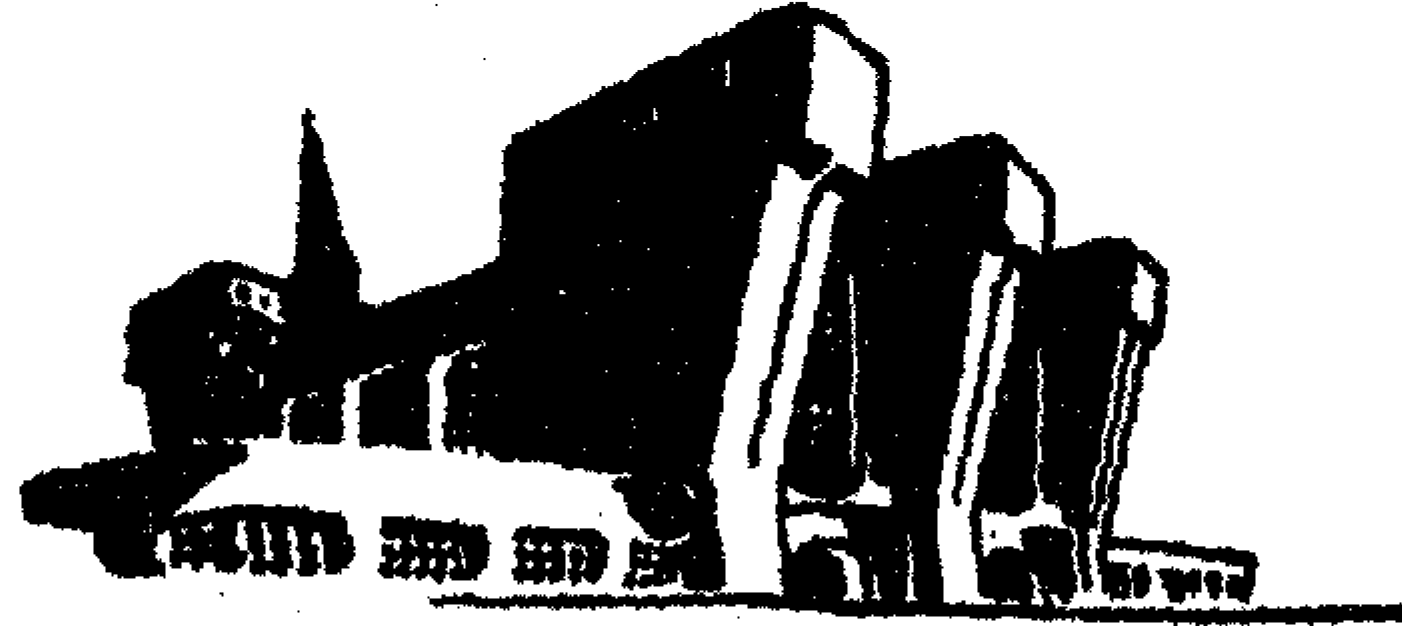
شكل ٥٤٥



شكل ٥٤٦

الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة — الاتجاه التعبيري

(شكل ٥٤٤) — استكشاف مندلسون لمحطة بضاعة .
(شكل ٥٤٥) — مصنع كيماوى .
(شكل ٥٤٦) — مصنع بصرى .
(شكل ٥٤٧) — مبنى صناعى .
(شكل ٥٤٨) — مصنع شاسيه سيارات .
(شكل ٥٤٩) — برج أينشتاين فى بوتسدام بألمانيا .
(شكل ٥٥٠) — مصنع لوكنفالد القبعات .



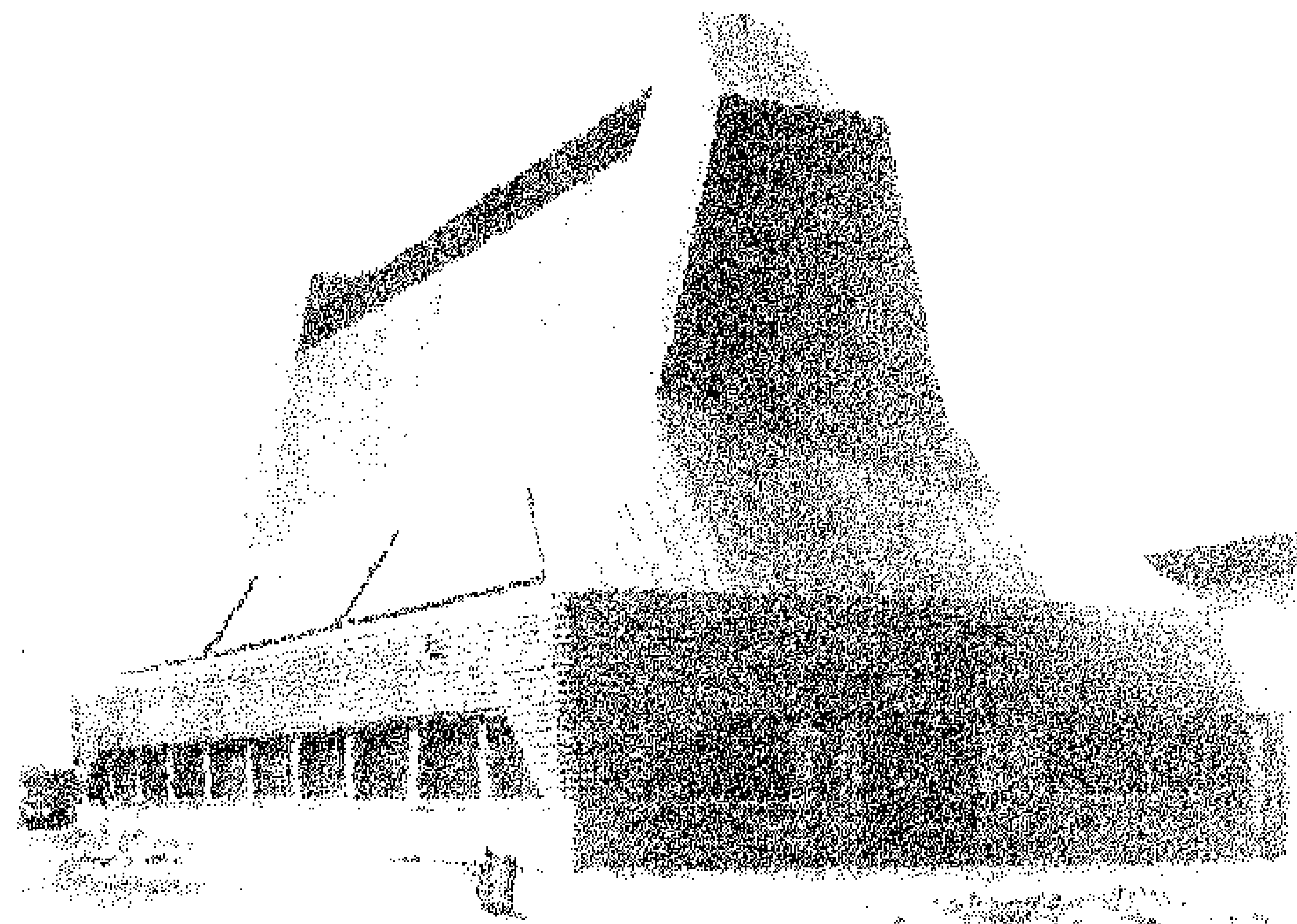
شكل ٥٤٧

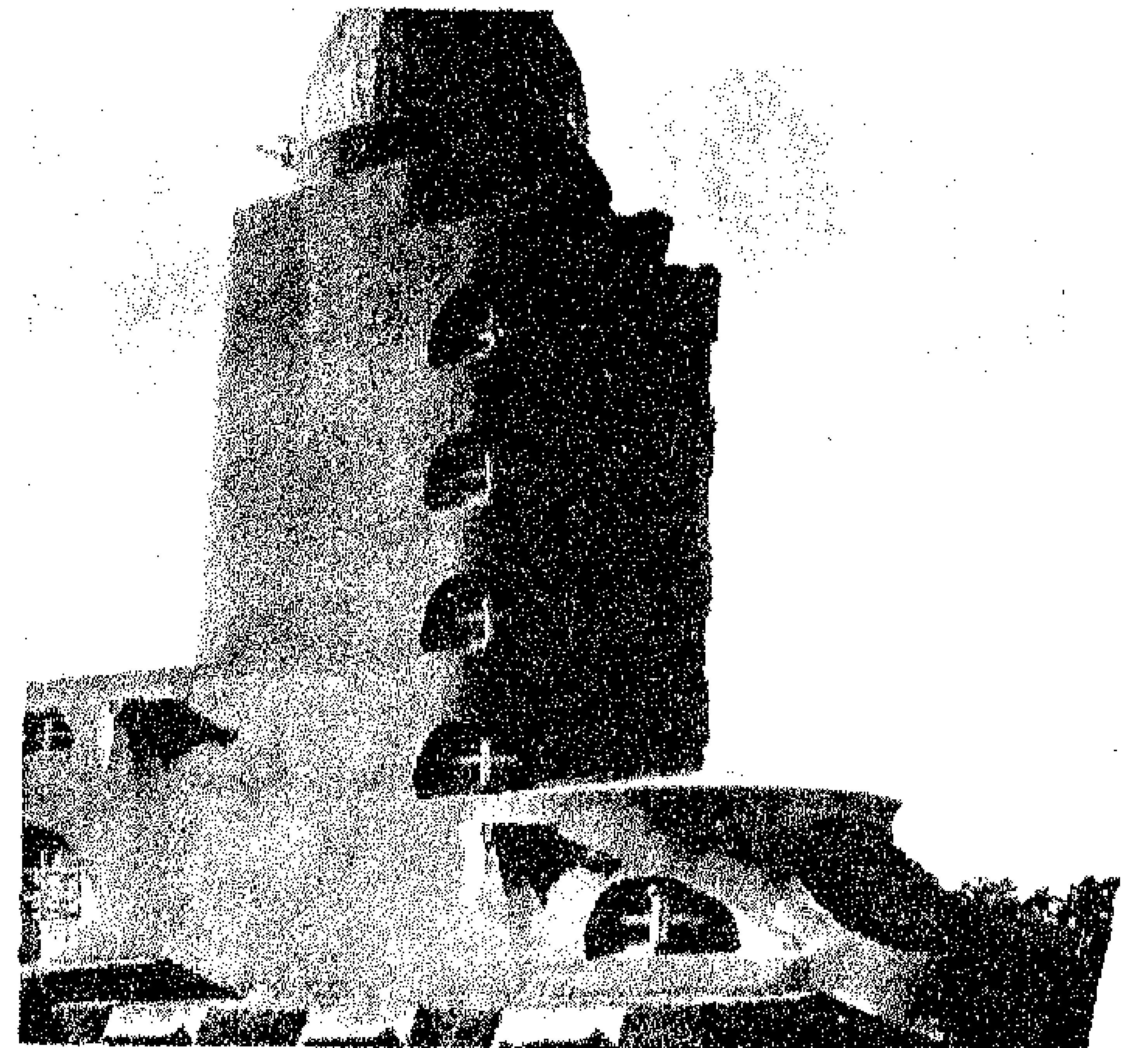
شكل ٥٤٨



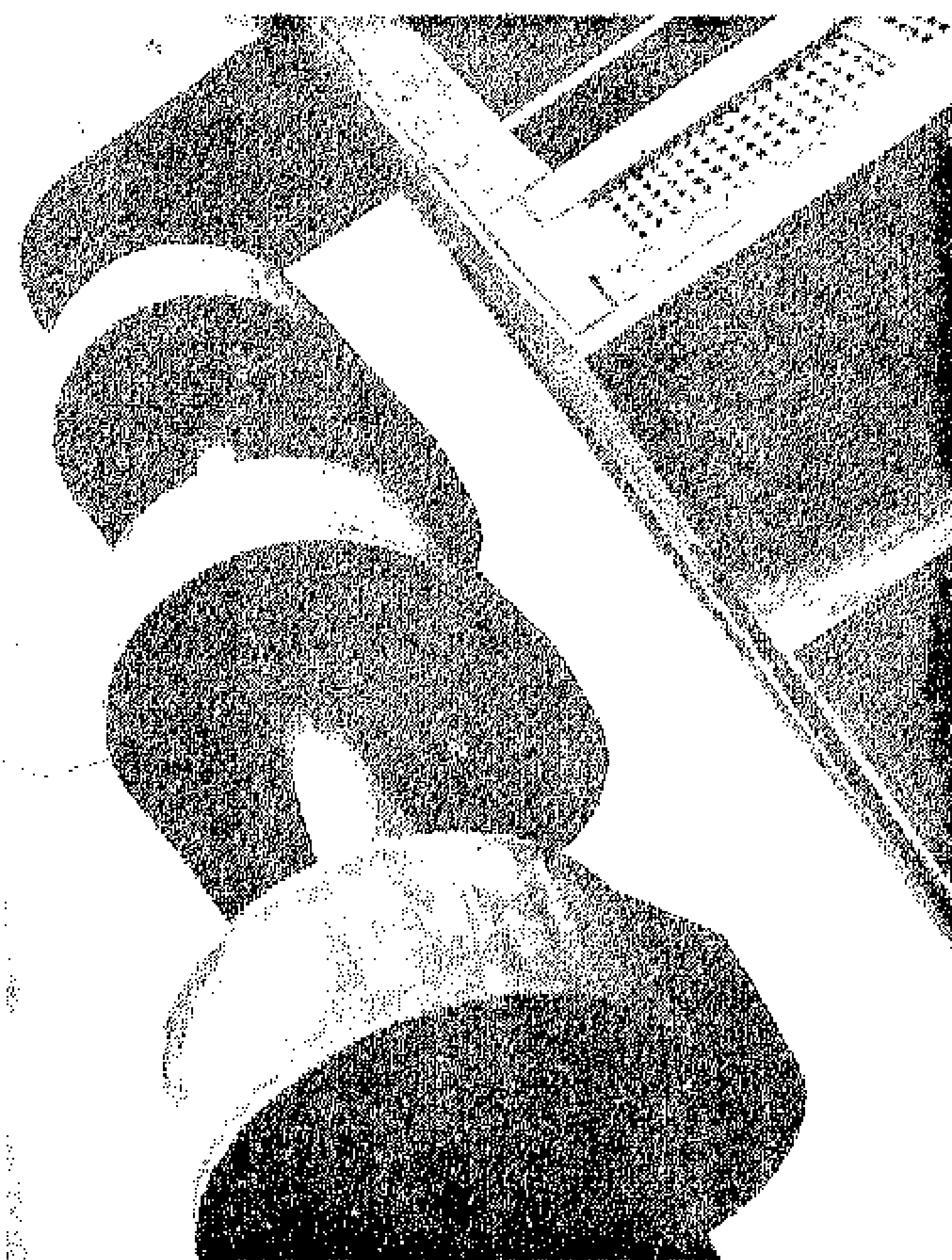
شكل ٥٥٠

شكل ٥٤٩

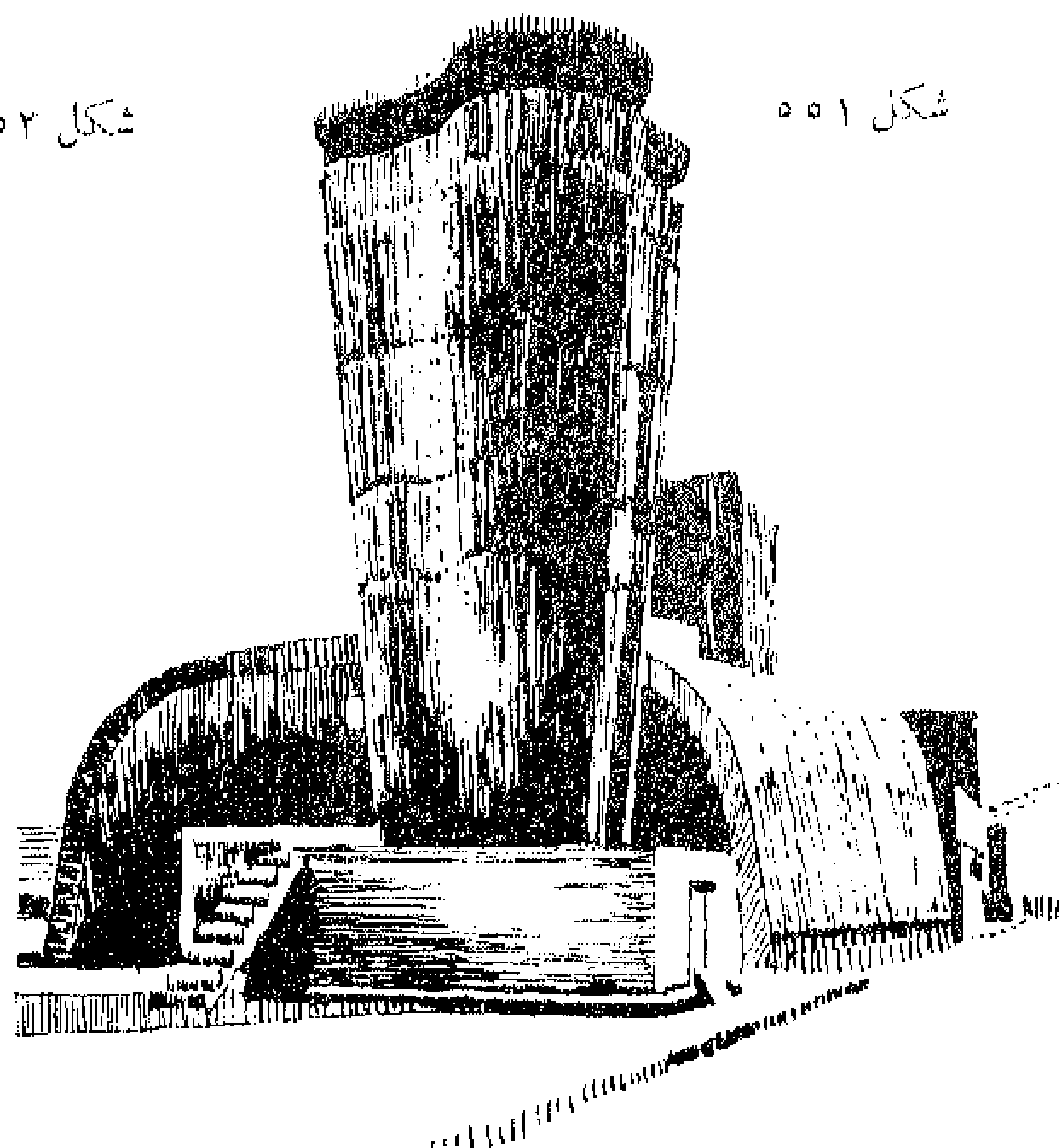




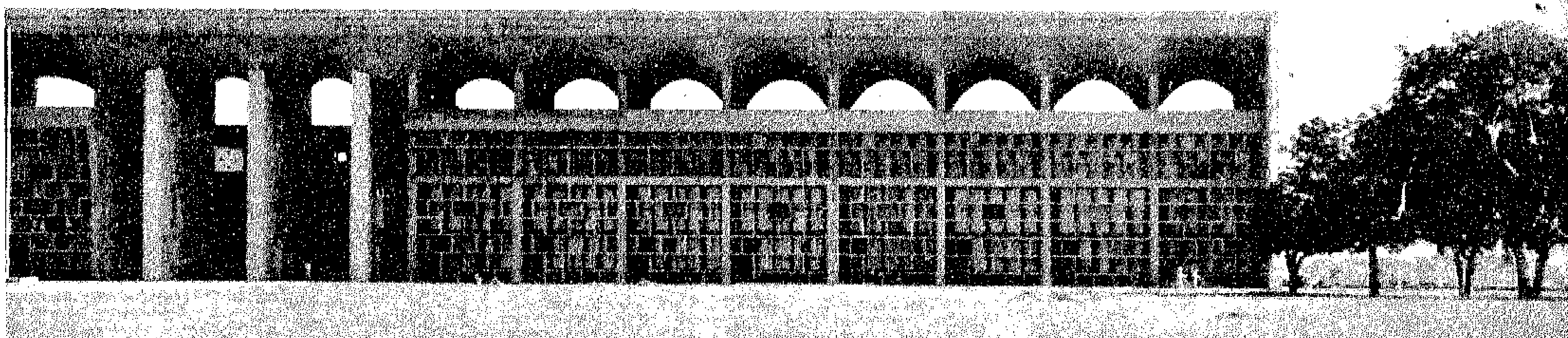
شكل ٥٥٢



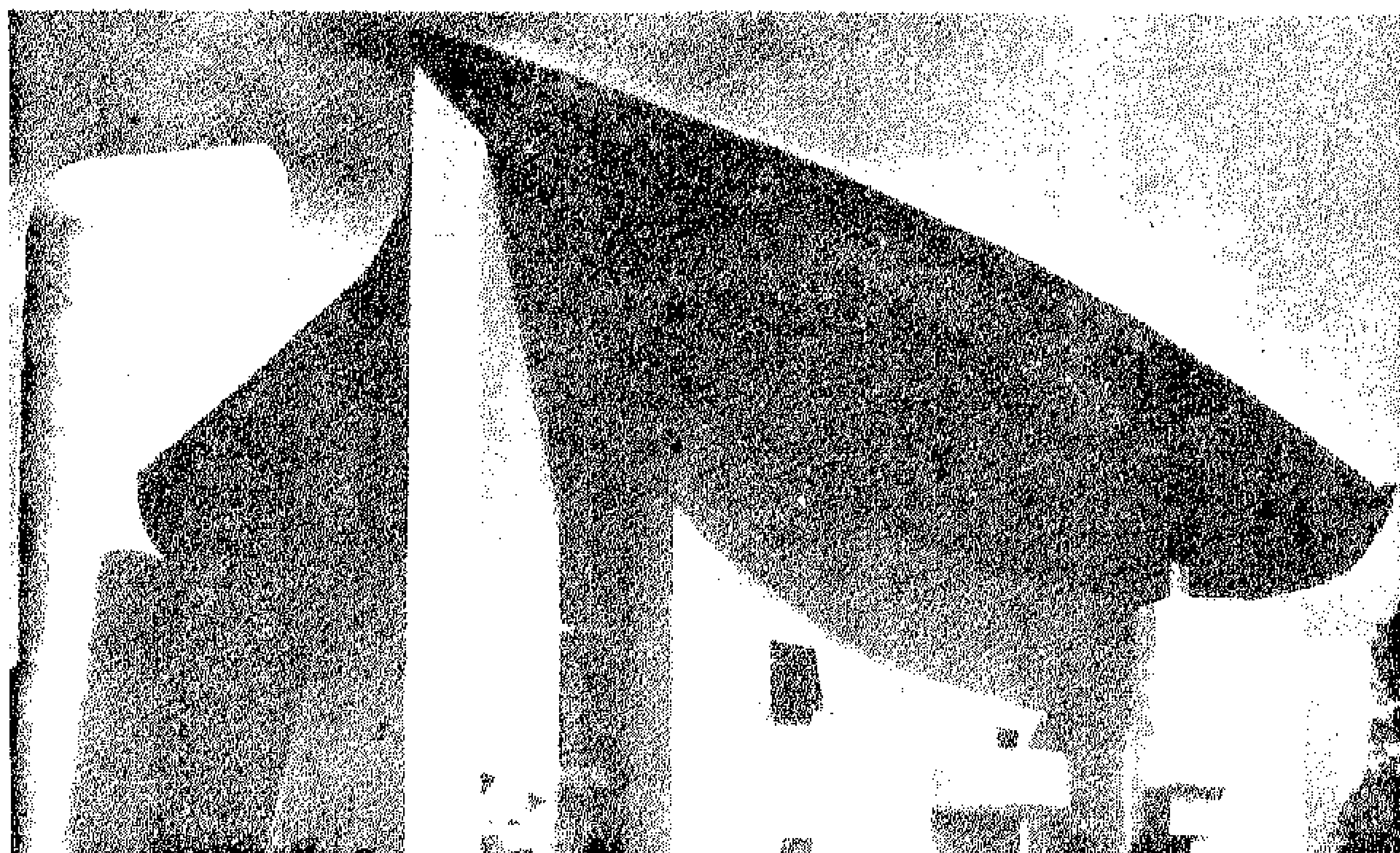
شكل ٥٥١



شكل ٥٥٣



شكل ٥٥٤



الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة — الاتجاه التعبيرى

المهندس لوكوربوزييه .

(شكل ٥٥١) حديقة السطح بمجموعة مارسيليا السكنية .

(شكل ٥٥٢) السلم الخارجى الخرسانى بمجموعة مارسيليا السكنية .

(شكل ٥٥٣) دار المحكمة العليا فى مدينة شانديجار بالهند .

(شكل ٥٥٤) كنيسة نوتردام دى هوه فى مدينة رونشان بفرنسا .

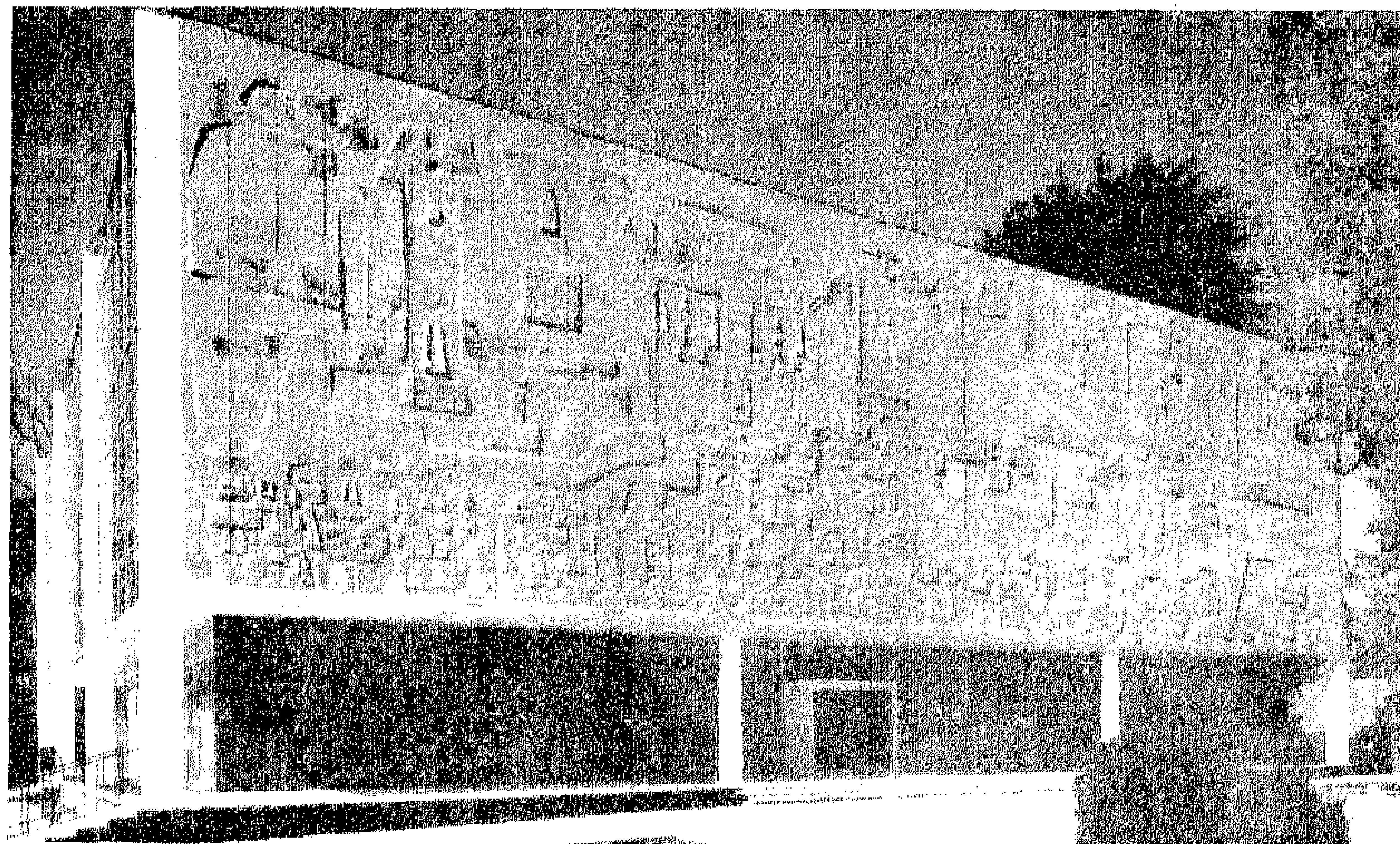
شكل ٥٥٥



شكل ٥٥٧



شكل ٥٥٦

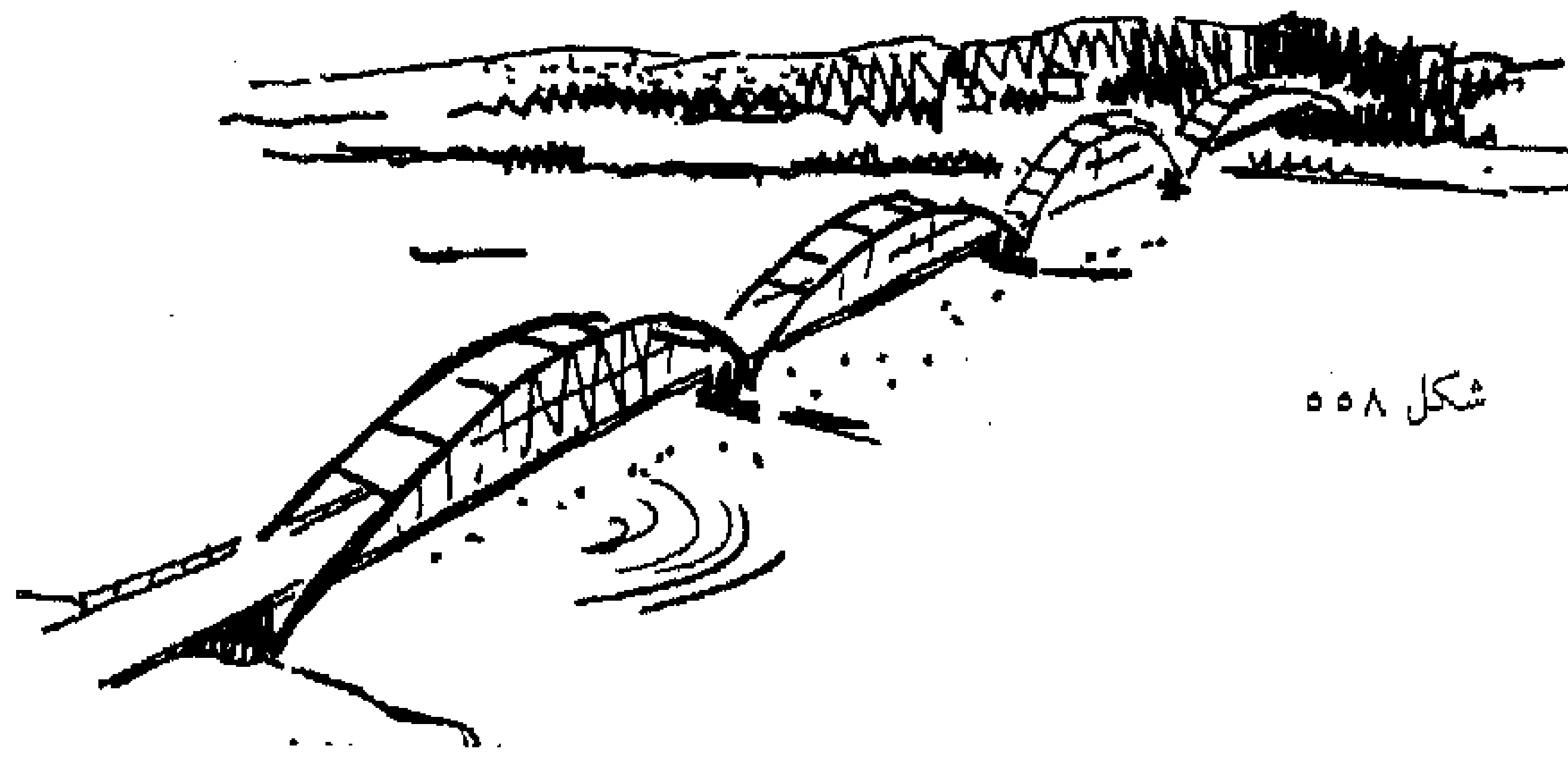


الخرسانة كمادة بلاستيكية متماسكة — الاتجاه الزخرفى

(شكل ٥٥٥) انطباعات غاطسة فى الخرسانة مبنية على شكل موديلور فى الأدوار الأرضية بأغلب عمارات لوكوربوزييه

(شكل ٥٥٦) مركز العرض ساحة ماكورمك على شاطىء البحيرة بشيكاجو (الفنان كونستانتين نيقولا والمعماريين شو و ميتز و روليو.

(شكل ٥٥٧) المركز الرئيسى لشركة تأمين ميوتوال أوف هارتفورد (الفنان نيقولا والمهندسون المعماريون شيروود وميلز وسميث) .



شكل ٥٥٨

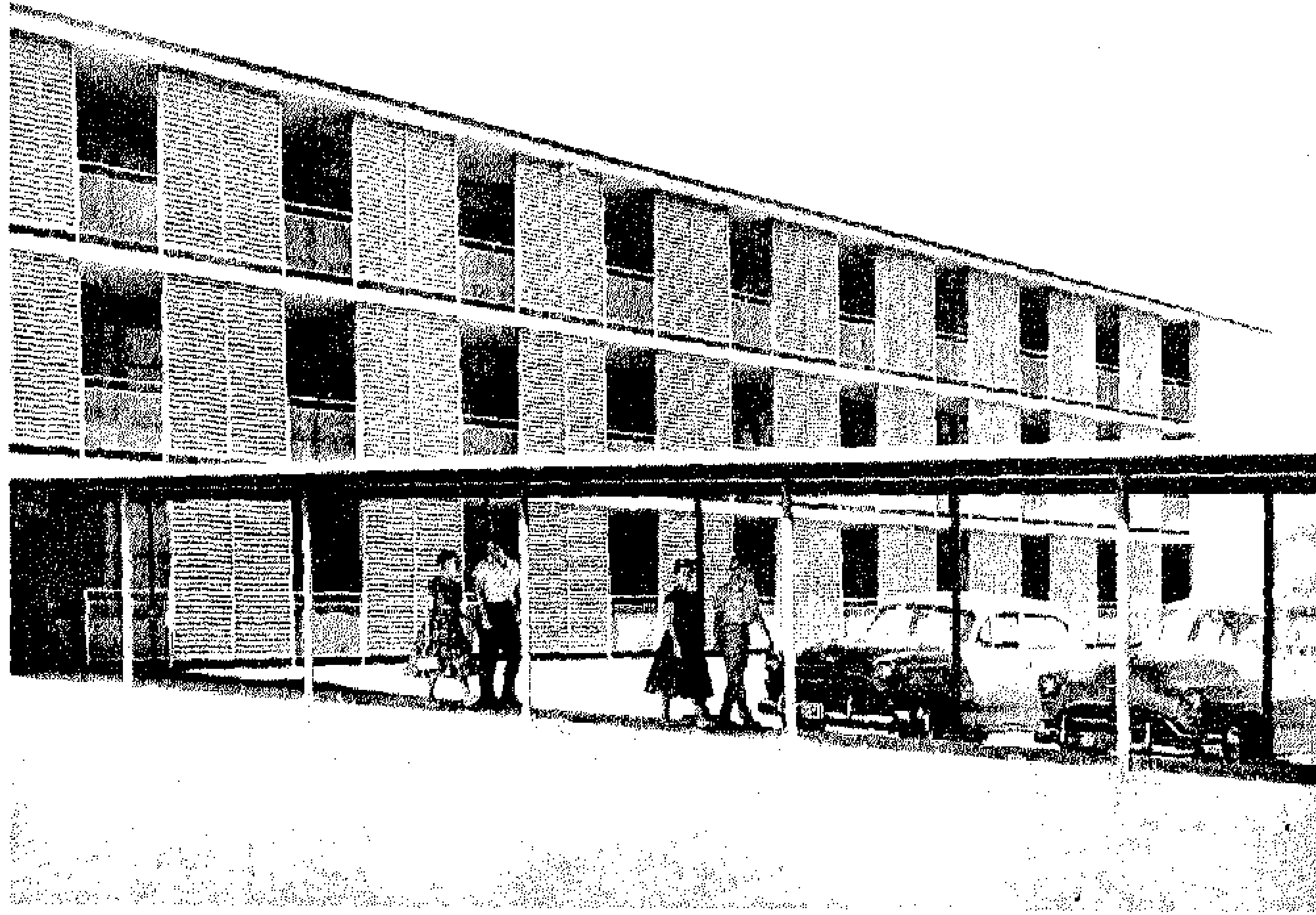
شكل ٥٥٩

الخرسانة كمادة قوية فى الانضغاط

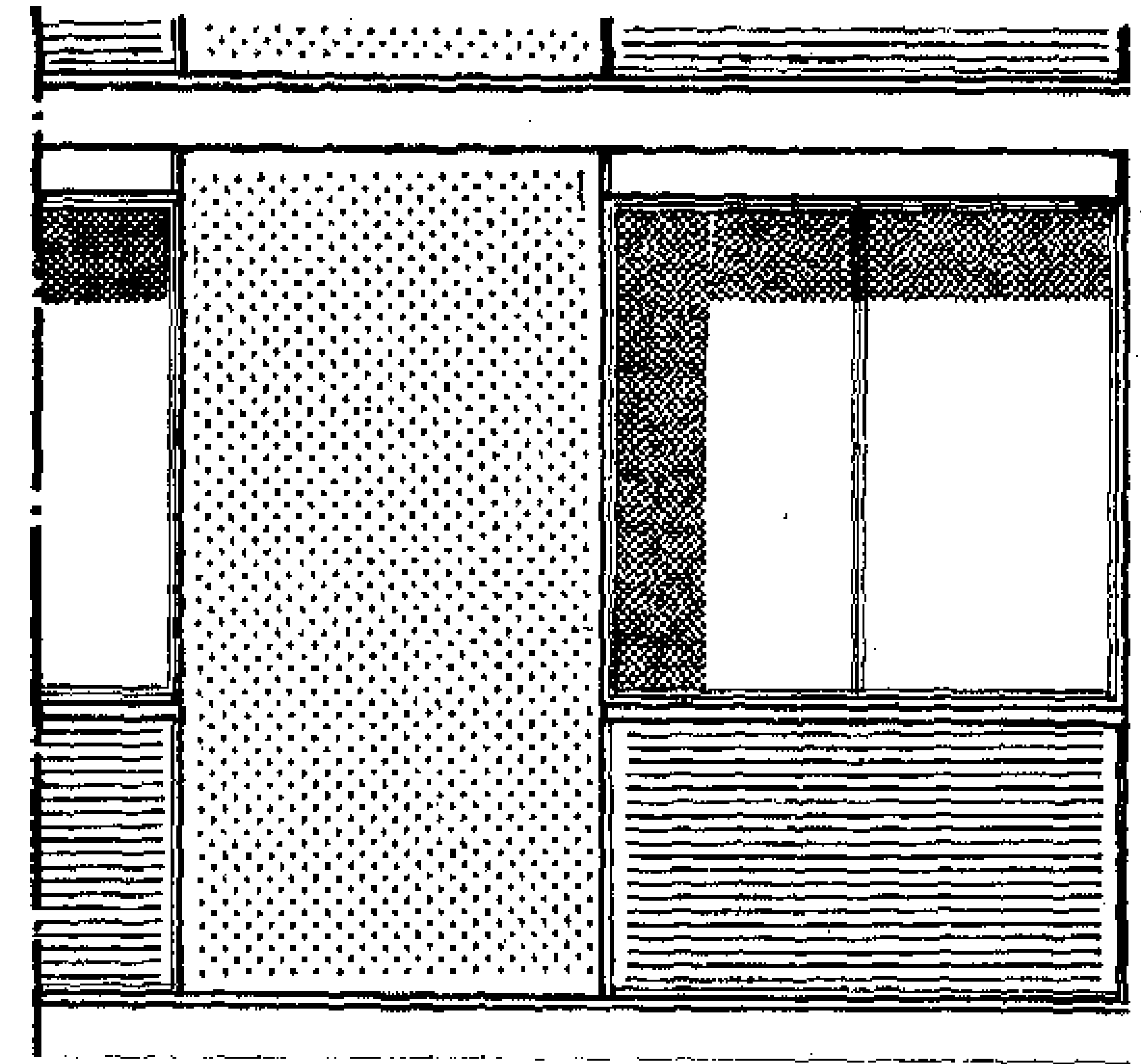
(شكل ٥٥٨) – كوبرى على نهر انجرمنالف فى مدينة هامر بالسويد .

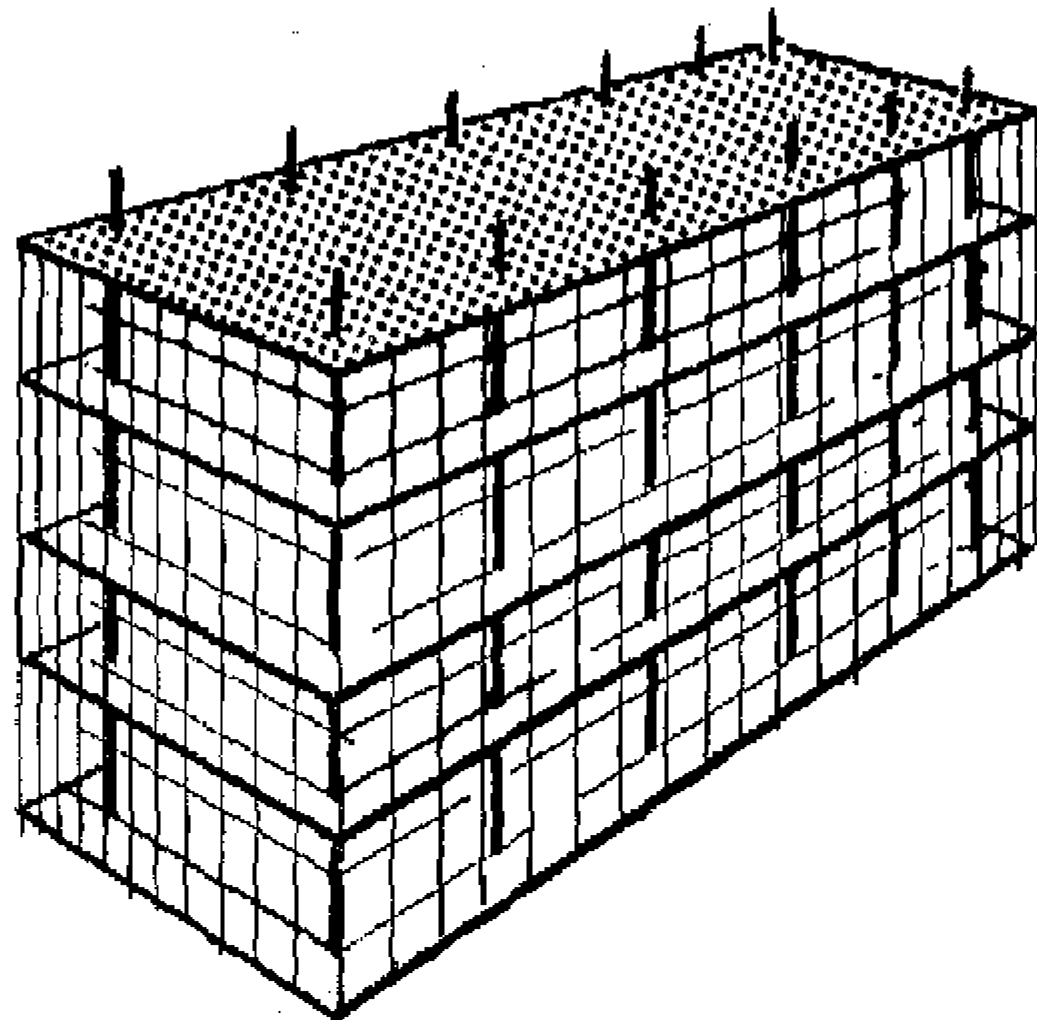
(شكل ٥٥٩) – منظور داخلى فى كنيسة سانت تيريز فى مونمانى .

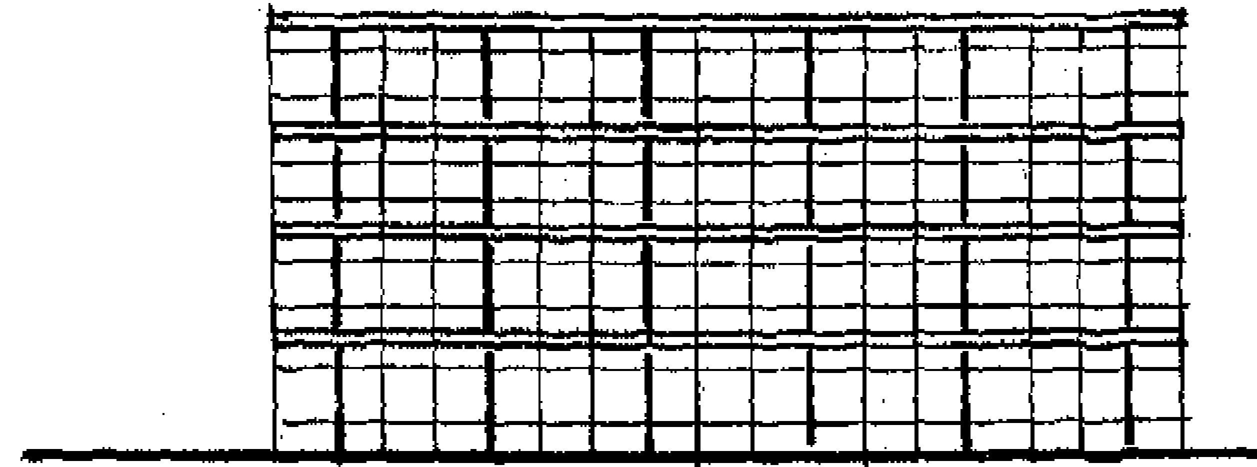
شكل ٥٦١



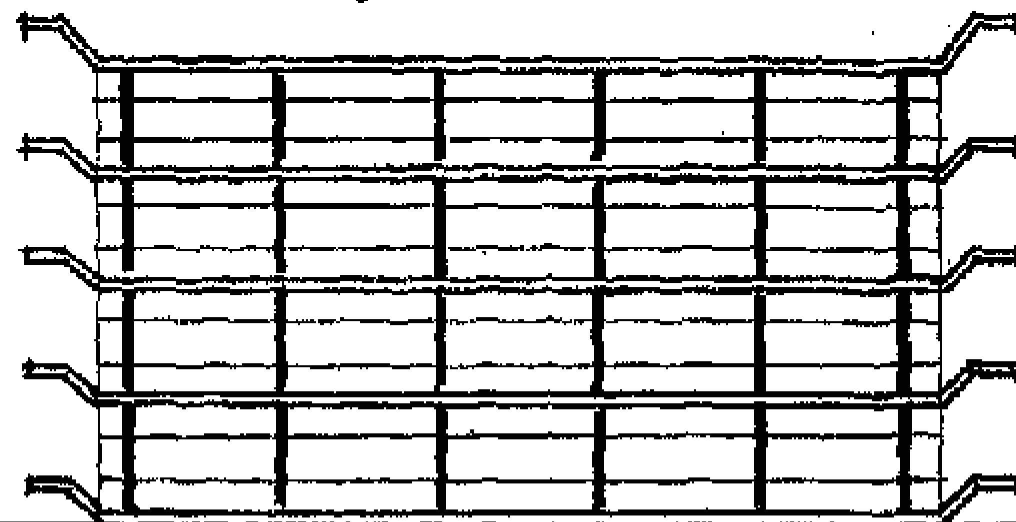
شكل ٥٦٠

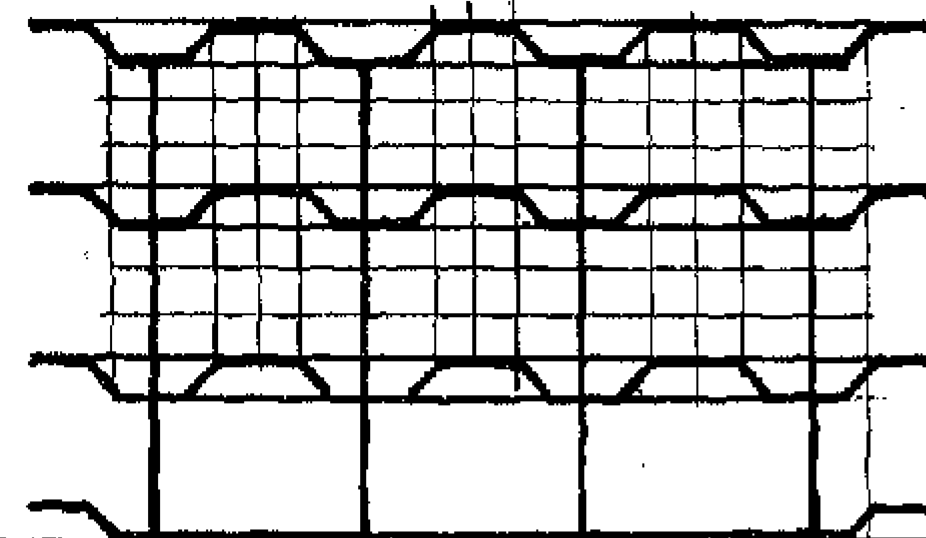






شكل ٥٦٢



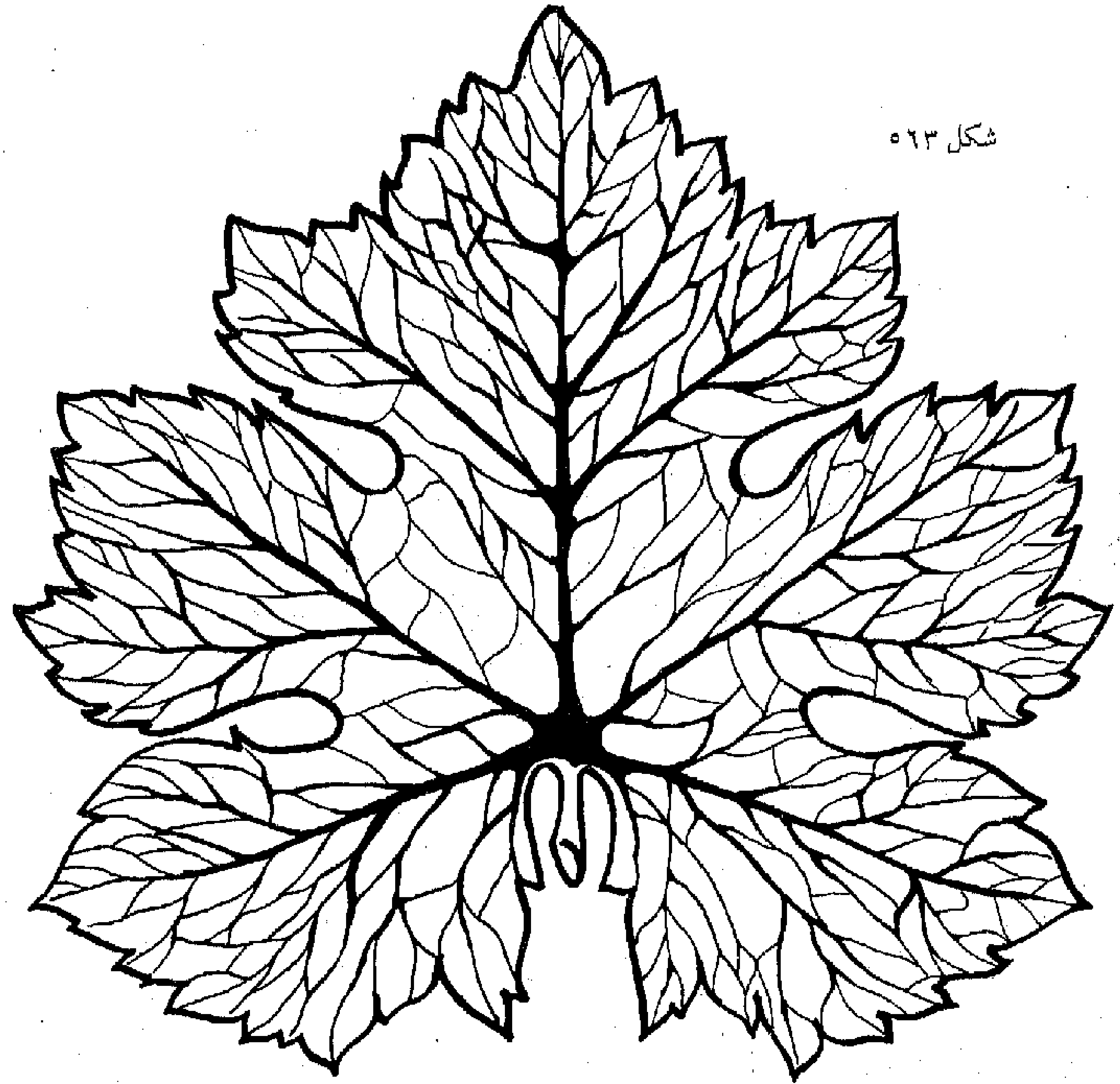


تأثير طريقة الصناعة – سبق التجهيز

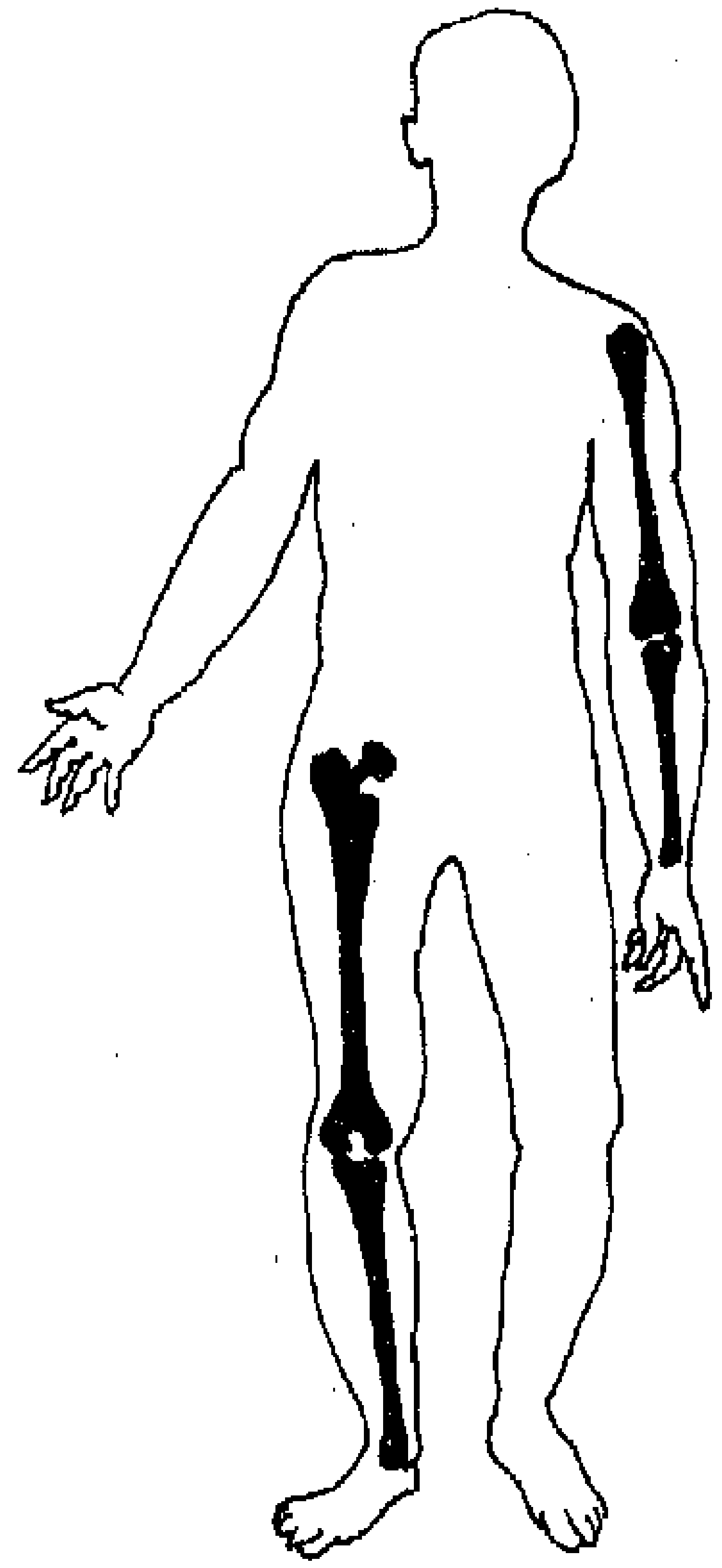
(شكل ٥٦٠) المعالجة التعبيرية للفتحات فى المبانى السكنية الجاهزة .

(شكل ٥٦١) واجهة وحدة من مساكن الطلبة بجامعة ترينتى بسان أنطونيو بتكساس . (طريقة البلاطات المرفوعة) .

(شكل ٥٦٢) اقتراحات واجهات تؤكد طريقة البلاطات المرفوعة .



شكل ٥٦٣

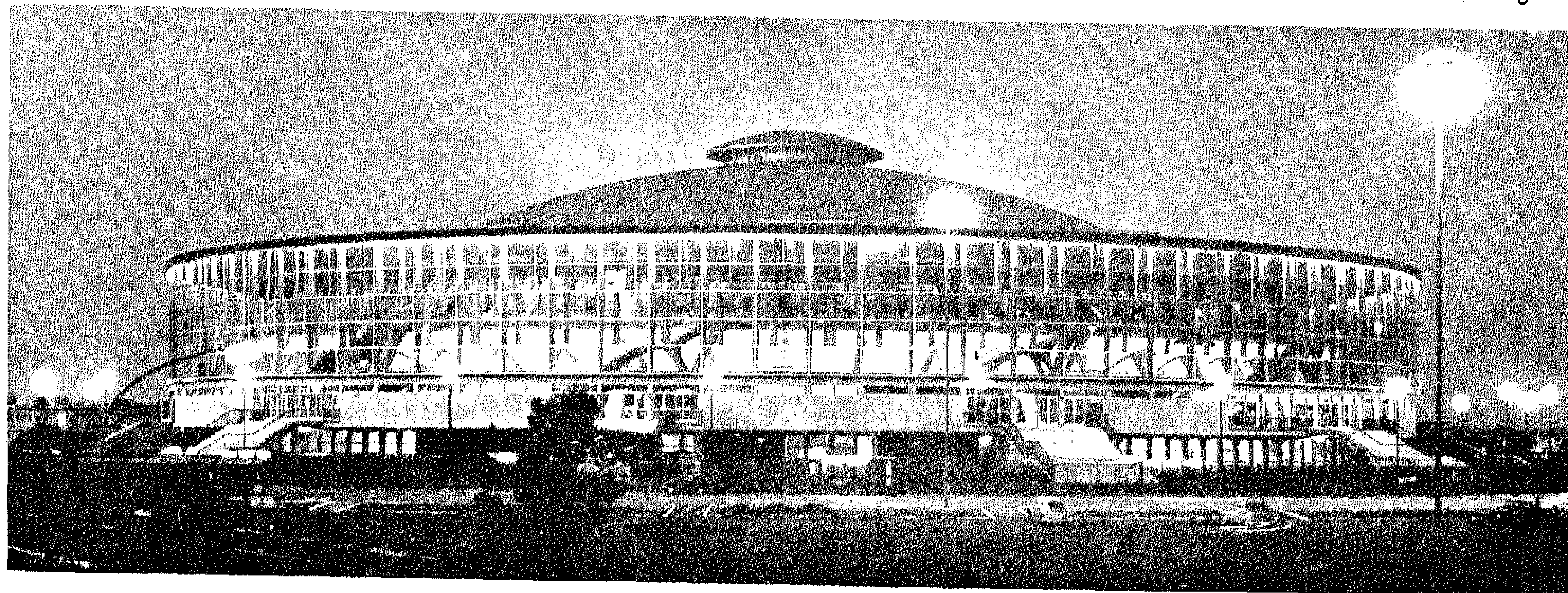


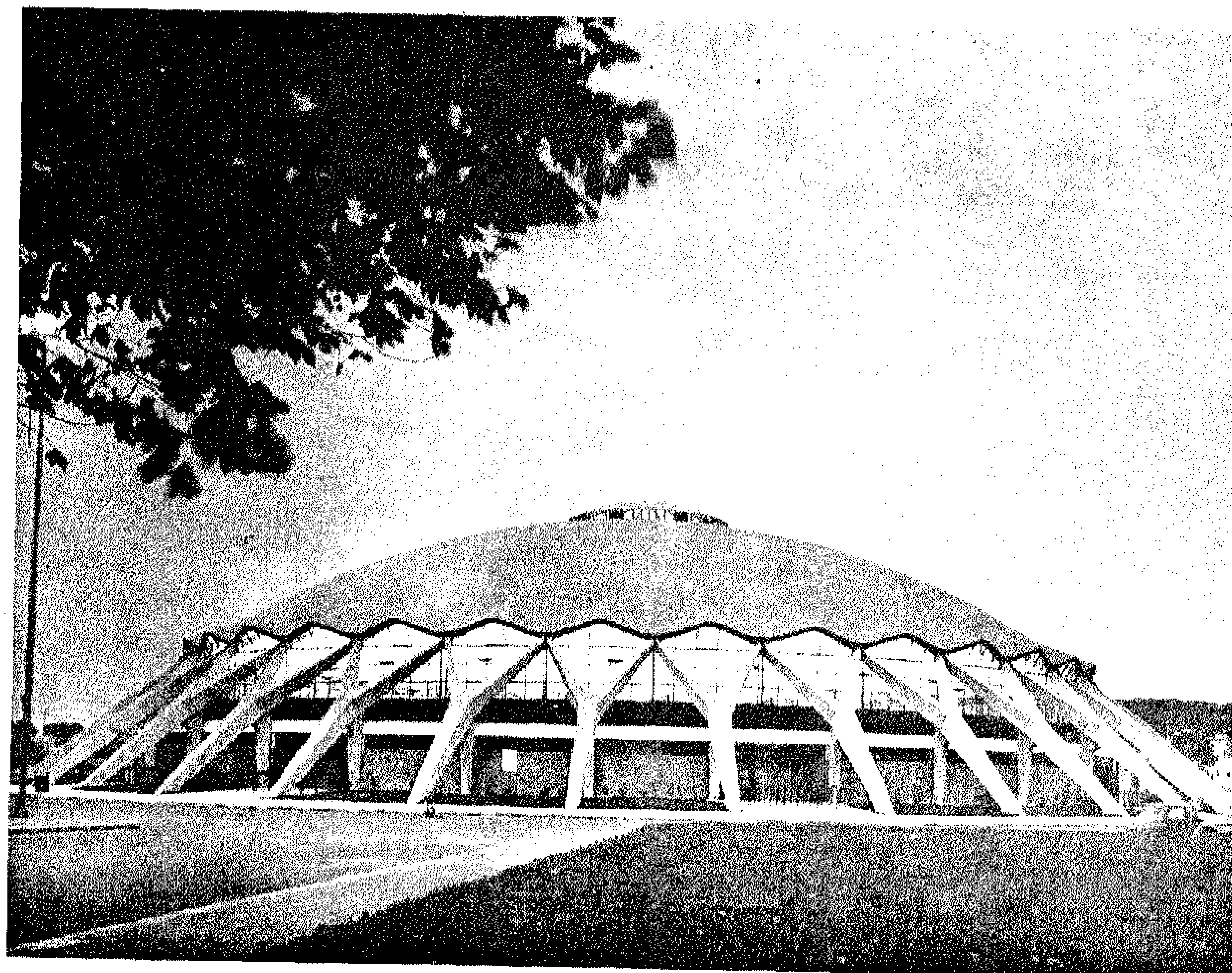
شكل ٥٦٤

الإنشاء العضوى

(شكل ٥٦٣) الهيكل مكشوف إلى الخارج فى الشجرة وأوراقها .
(شكل ٥٦٤) الهيكل مكسى بالعضلات والجلد فى الإنسان ولكن معبر عنه .

شكل ٥٦٥





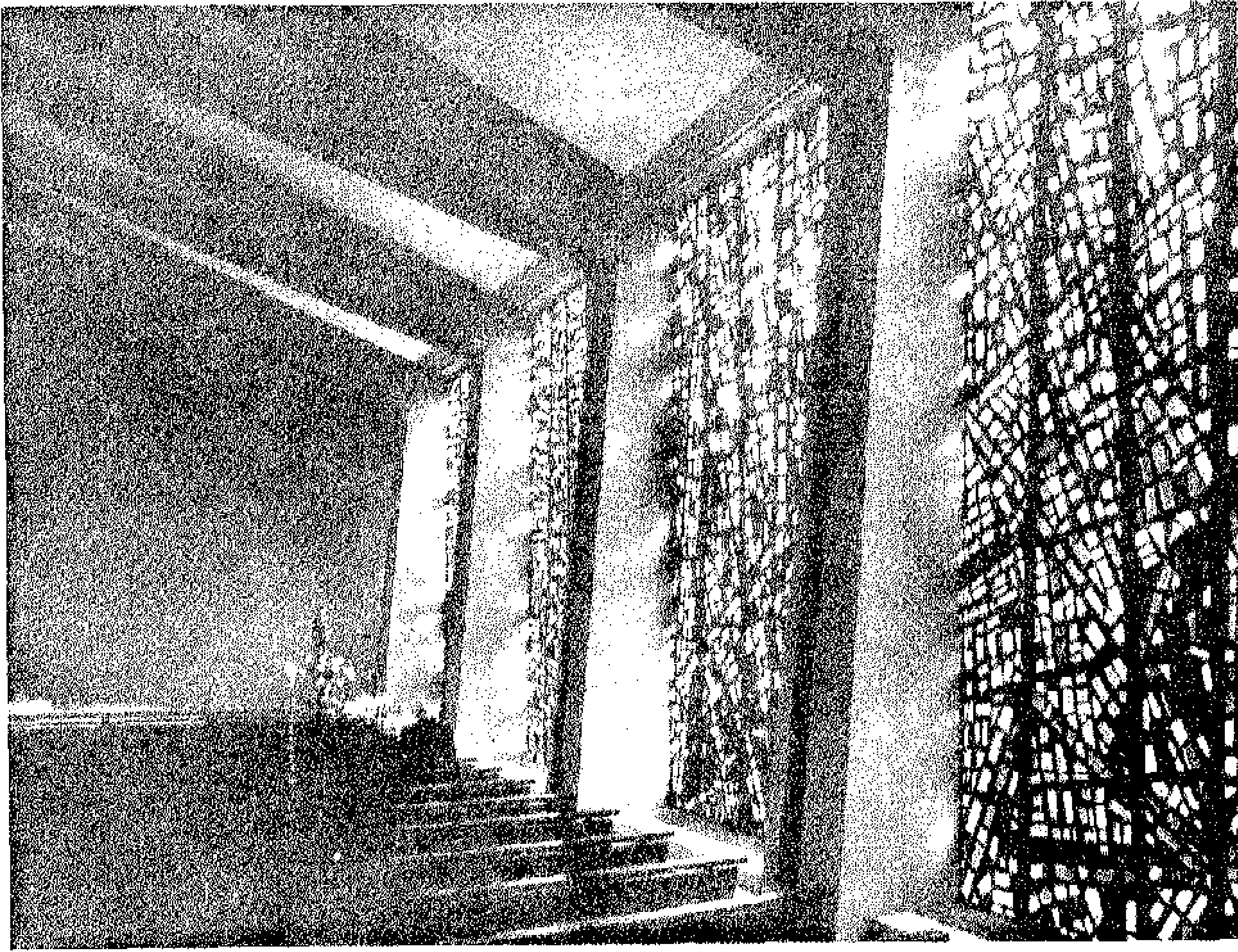
شكل ٥٦٦

التعبير عن الحقيقة الإنشائية

مقارنة بين اتجاهين

(شكل ٥٦٥) قصر الرياضة الكبير فى روما – الإنشاء مختفى وراء أسطوانة زجاجية .

(شكل ٥٦٦) قصر الرياضة الصغير فى روما – صراحة ووضوح الفكرة الإنشائية .

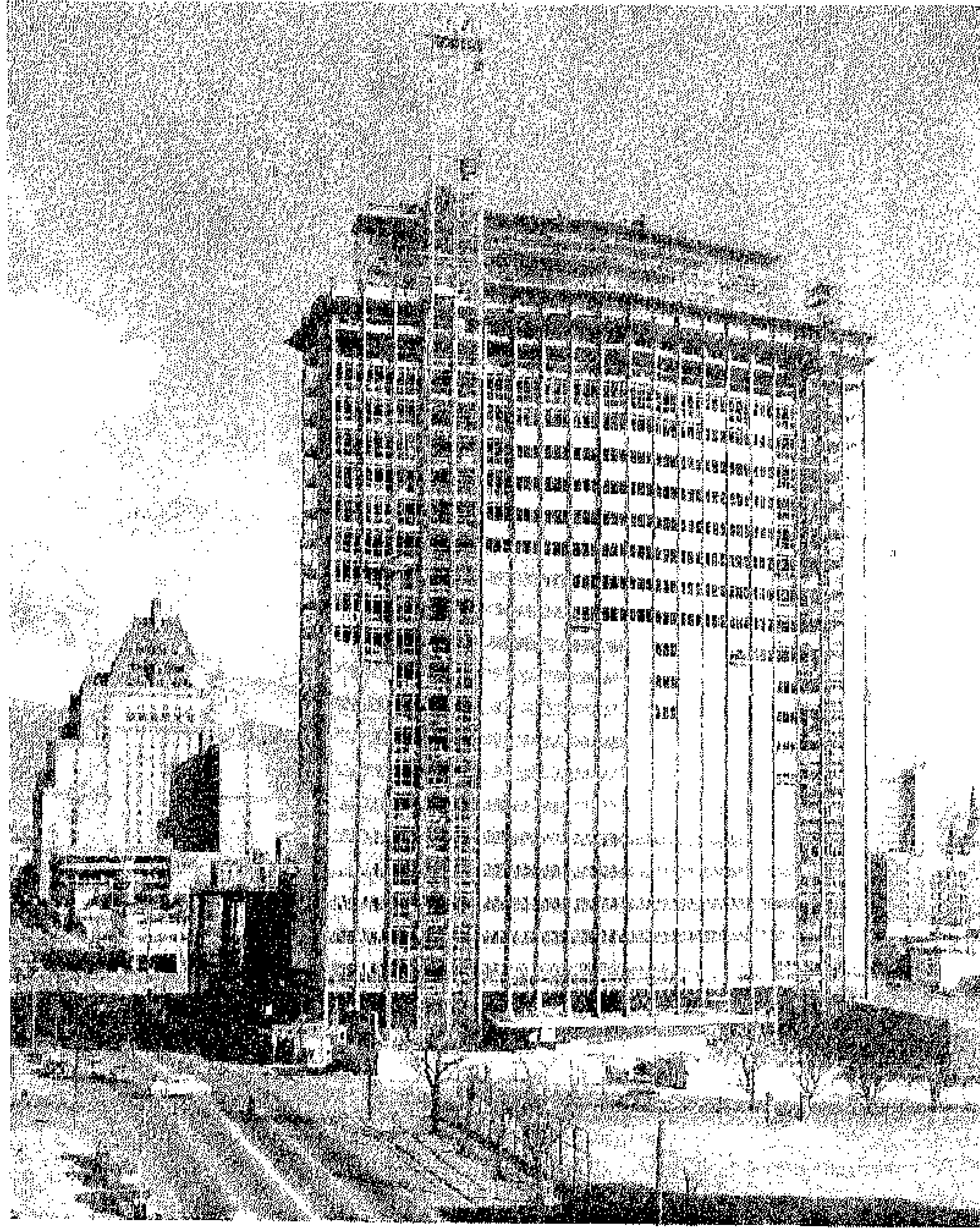


شكل ٥٦٧

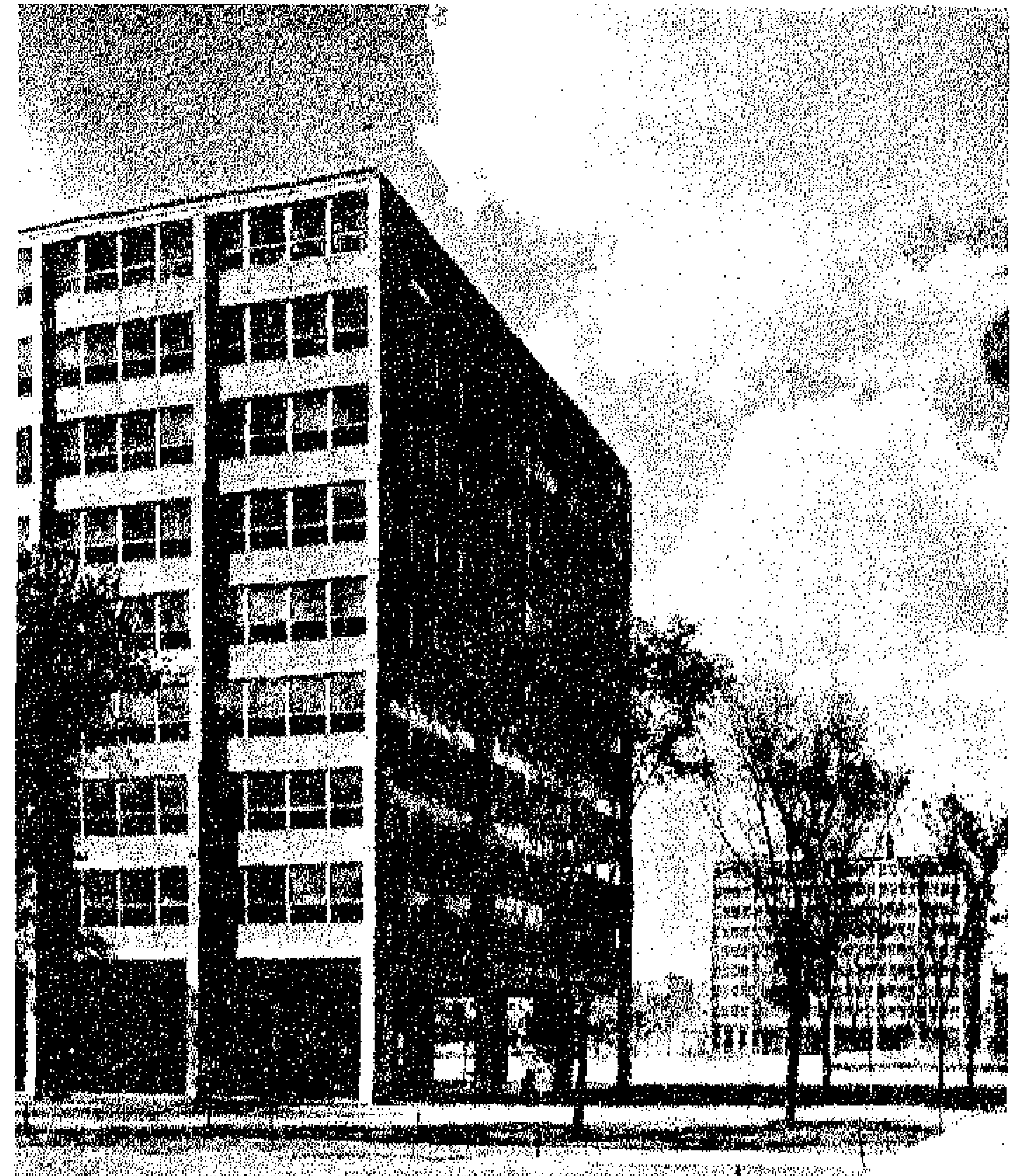
طريقة التجميع الإنشائى – التشكيلات الخطية الرأسية

(شكل ٥٦٧) كنيسة القديس موريتيوس فى ساربروكين بألمانيا . (المعمارى ألبرت ديتز) .
(شكل ٥٦٨) كنيسة نيجروز بجزائر الفلبين . (المهندسان ريموند ورادو) .

شكل ٥٦٩



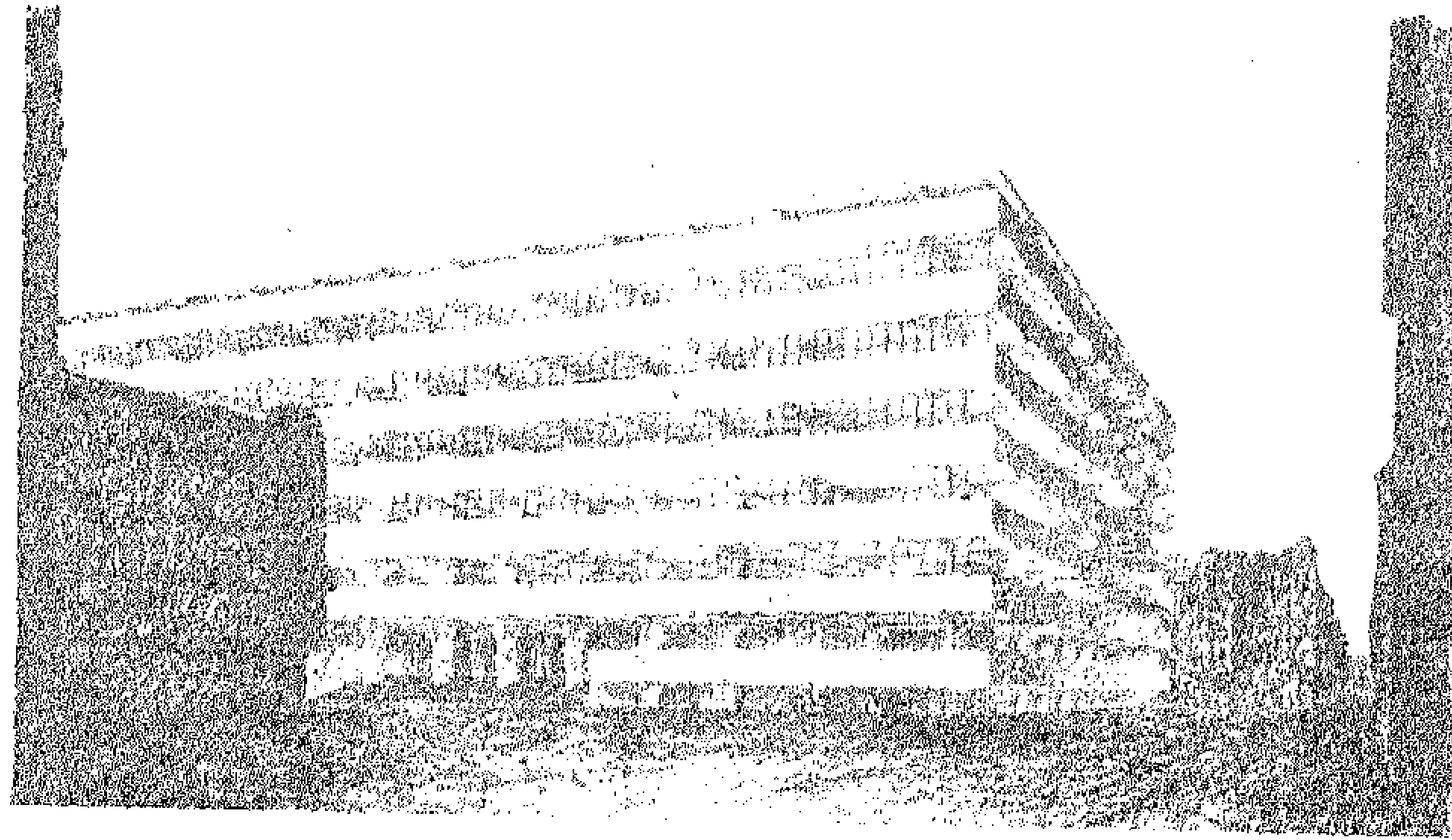
شكل ٥٧٠



طريقة التجميع الإنشائى الخطى– التأكد الرأسى

(شكل ٥٦٩) المركز الرئيسى لشركة كهرباء برتش كولومبيا بڤانكوڤر ، بكولومبيا البريطانية .
(شكل ٥٧٠) مشروع لعمارة سكنية بشيكاجو سنة ١٩٤٦
(المهندس المعمارى / ميزڤان ديروه) .

شكل ٥٧١



شكل ٥٧٢



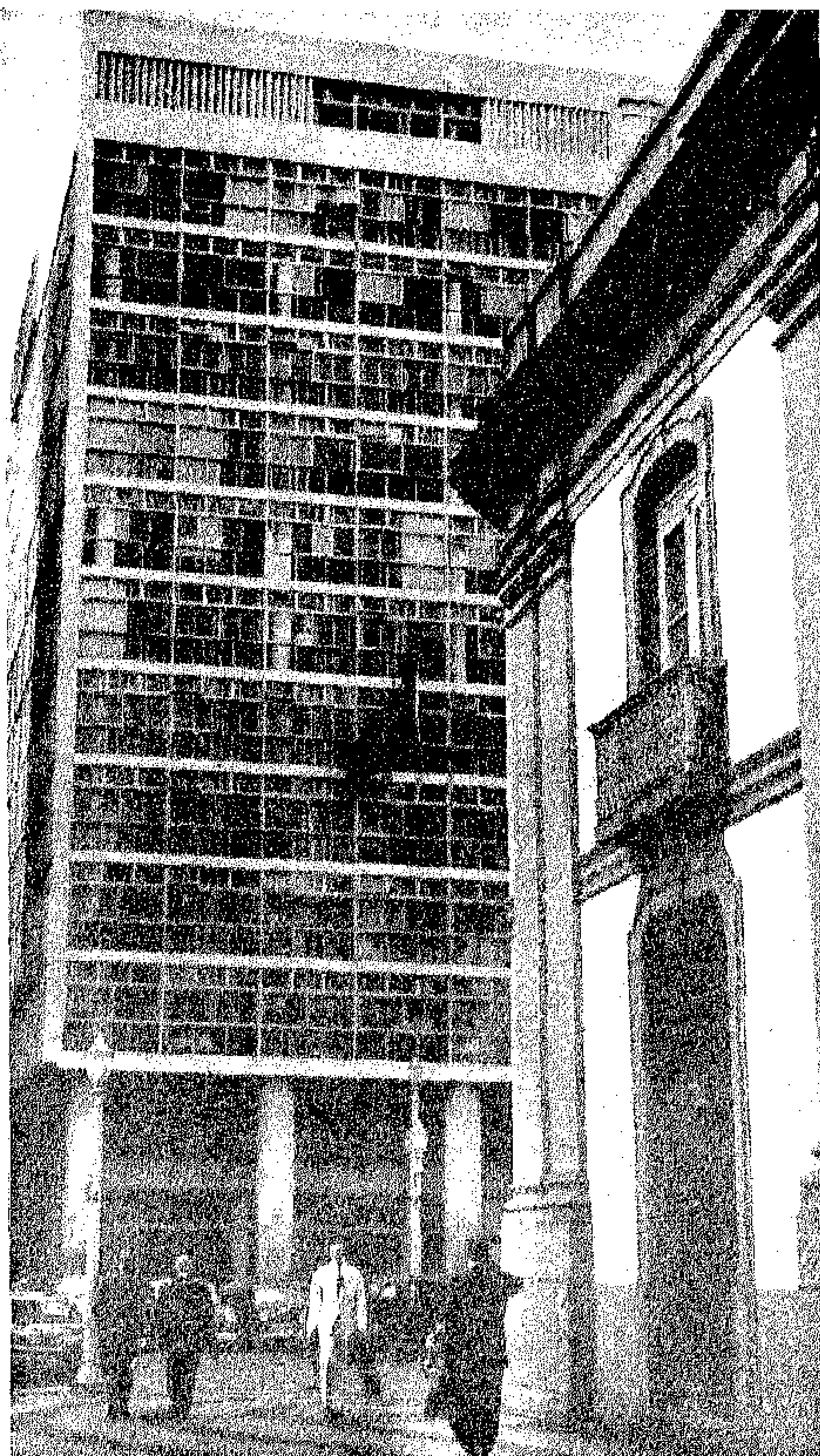
طريقة التجميع الإنشائى– التشكيلات الخطية – التأكيد الأفقى

(شكل ٥٧١) – مشروع مبنى مكاتب بالخرسانة المسلحة .
(المهندس / ميزفان ديروه سنة ١٩٢٢)
(شكل ٥٧٢) – مبنى شركة سيكيوروس بوليفار ببوجوتا – كولومبيا (المهندسون كويلار وسيرانو وجوميز وشركاهم) .

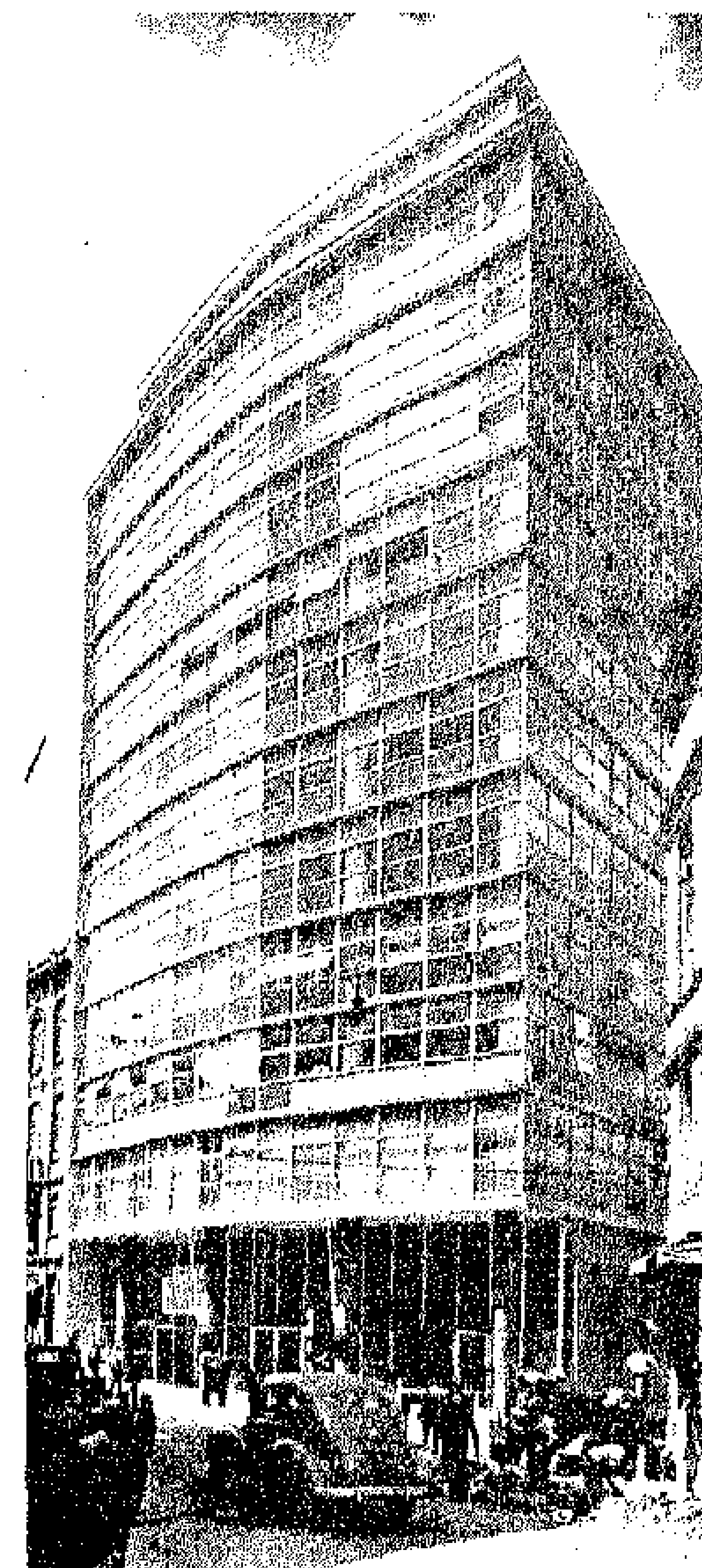
شكل ٥٧٣



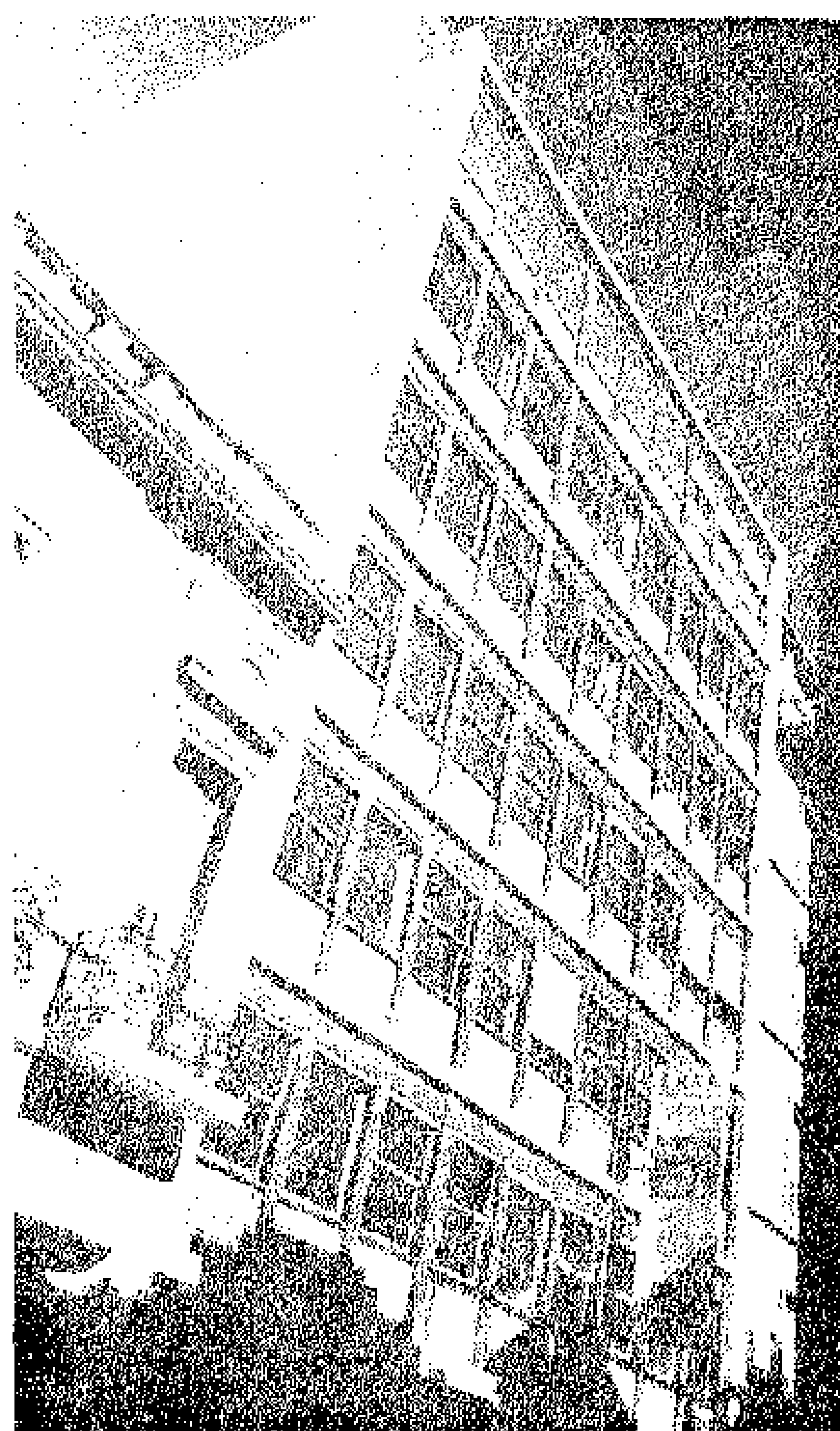
شكل ٥٧٤



شكل ٥٧٥



شكل ٥٧٦



طريقة التجميع الإنشائى — التأكيد الأفقى

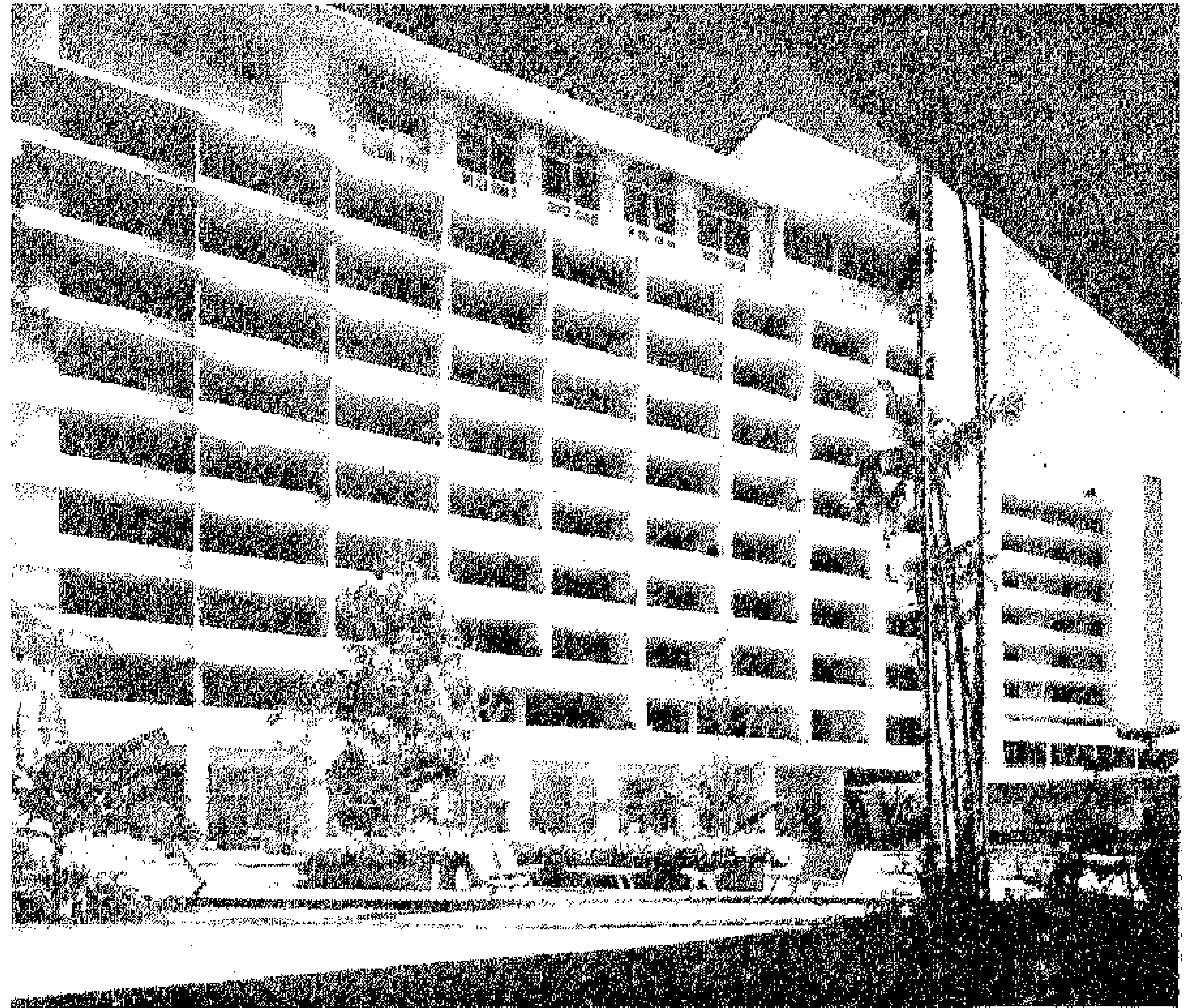
(شكل ٥٧٣) منزل الطلبة السويسريين بجامعة باريس . الواجهة البحرية (المهندس المعمارى — لوكوربوزييه) .

(شكل ٥٧٤) بنك بوليستا دى كوميرسيو سان باولو — البرازيل سنة ١٩٤٧ — ١٩٤٨ (المهندس المعمارى رينوليڤ) .

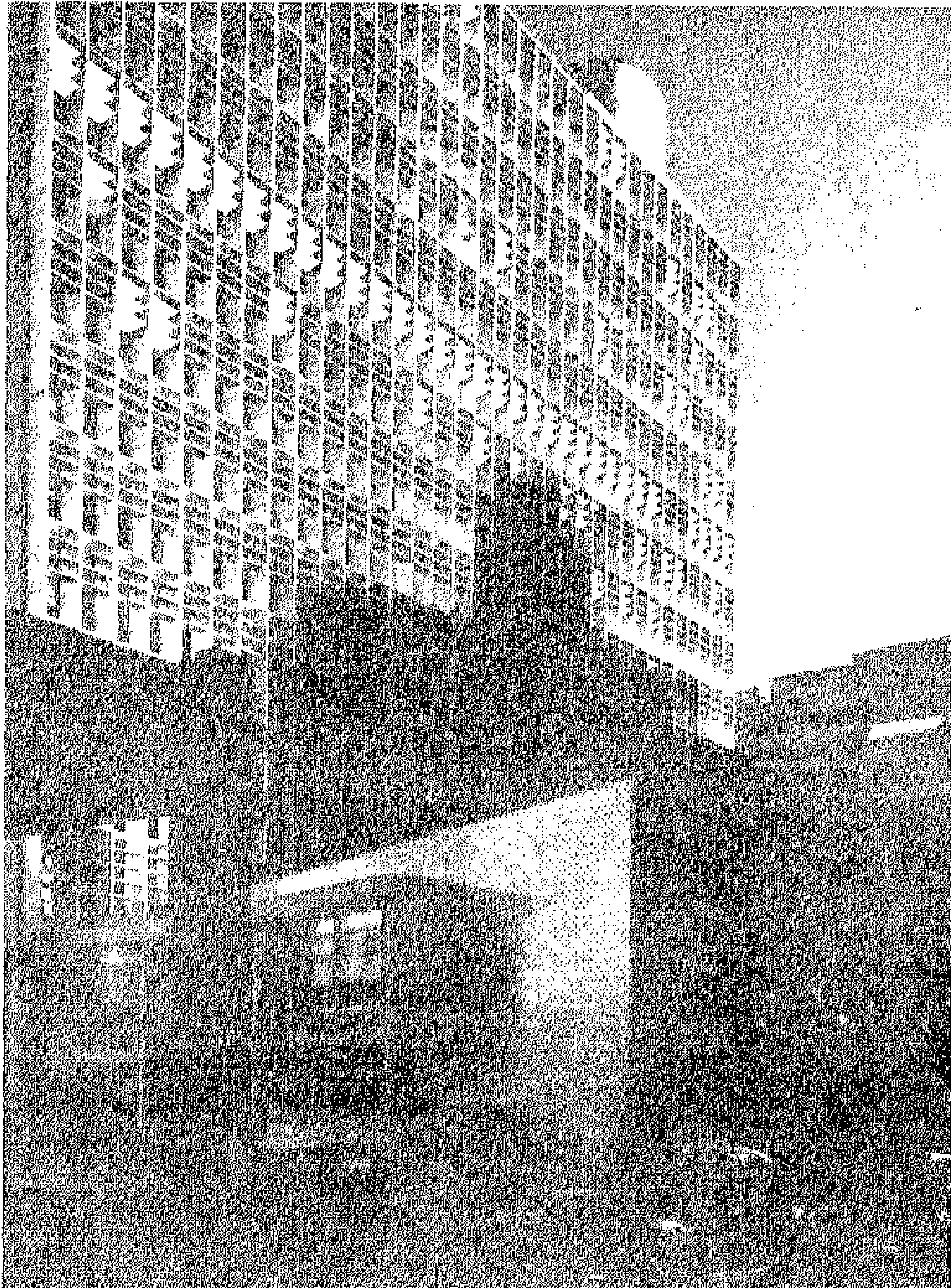
(شكل ٥٧٥) عمارة بنك باوڤيستا فى ريودى جانيرو . المهندس المعمارى اوسكار نيماير سنة ١٩٤٦ .

(شكل ٥٧٦) عمارة E.M.S.A فى بيونس ايرس بالأرجنتين . (المهندسان المعماريان روفائيل ولويس جرازيانى) .

شكل ٥٧٧



شكل ٥٧٩



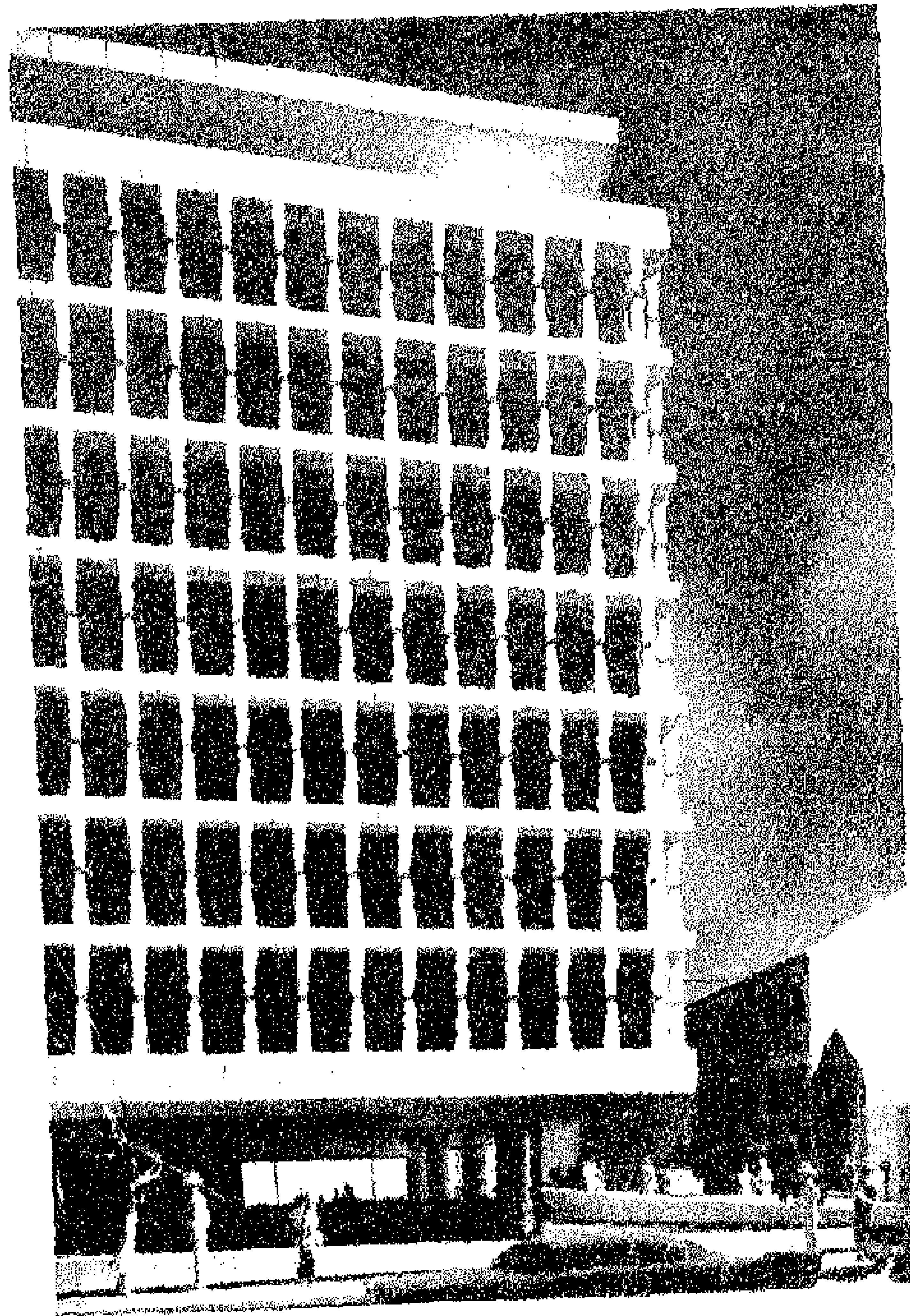
شكل ٥٧٨

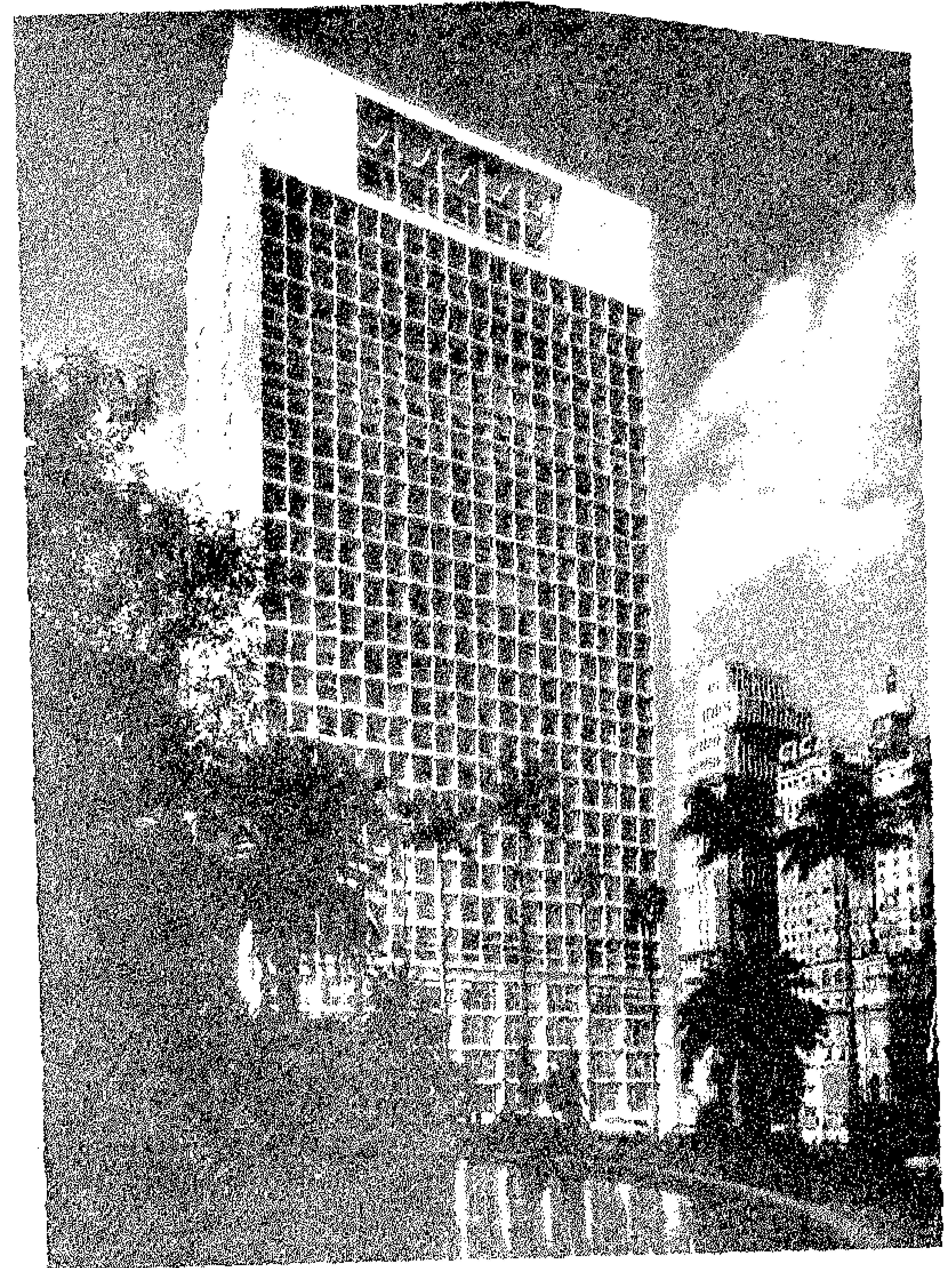


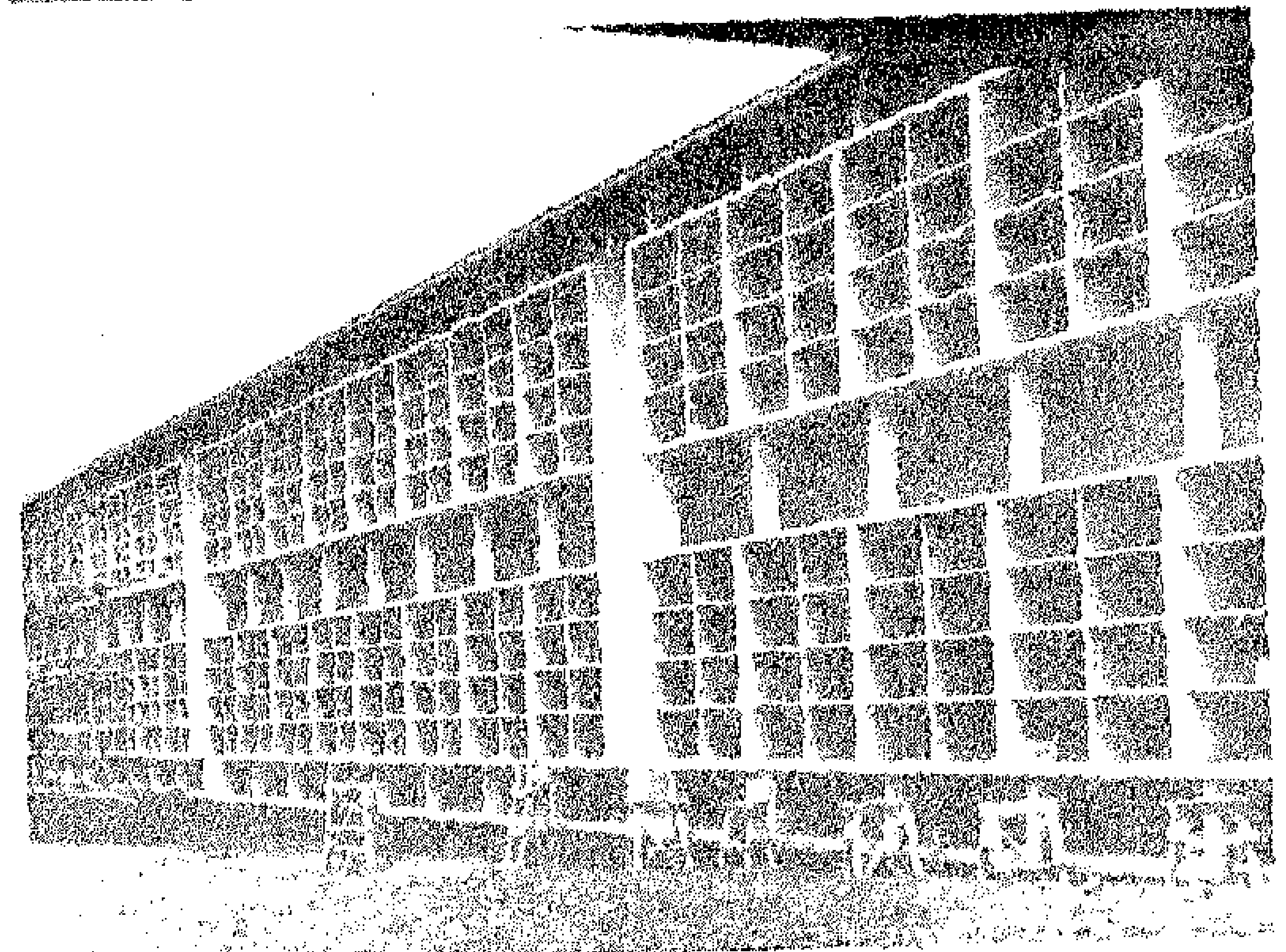
طريقة التجميع الإنشائي الخطي – التأكيد الشبكي

(شكل ٥٧٧) فندق بناما (المهندس المعماري إدوارد ستون) .
(شكل ٥٧٨) عمارات سكنية في باركي كوينتا (المهندس المعماري لوسيو كوستا) .
(شكل ٥٧٩) وزارة التعليم والصحة – ريو دي جانيرو .

شكل ٥٨٢







شكل ٥٨١

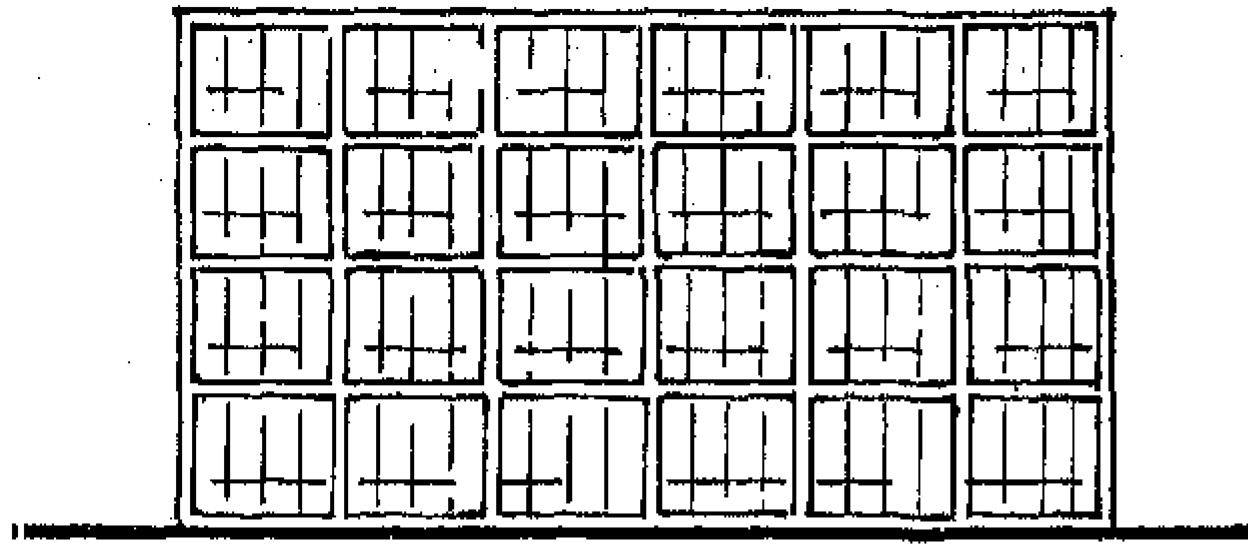
طريقة التجمعى الإنشائى الخطى — التأكيد الشبكى

(شكل ٥٨٠) مبنى .C.I.B فى سان باولو بالبرازيل . المهندس المعمارى كورنى جولد .

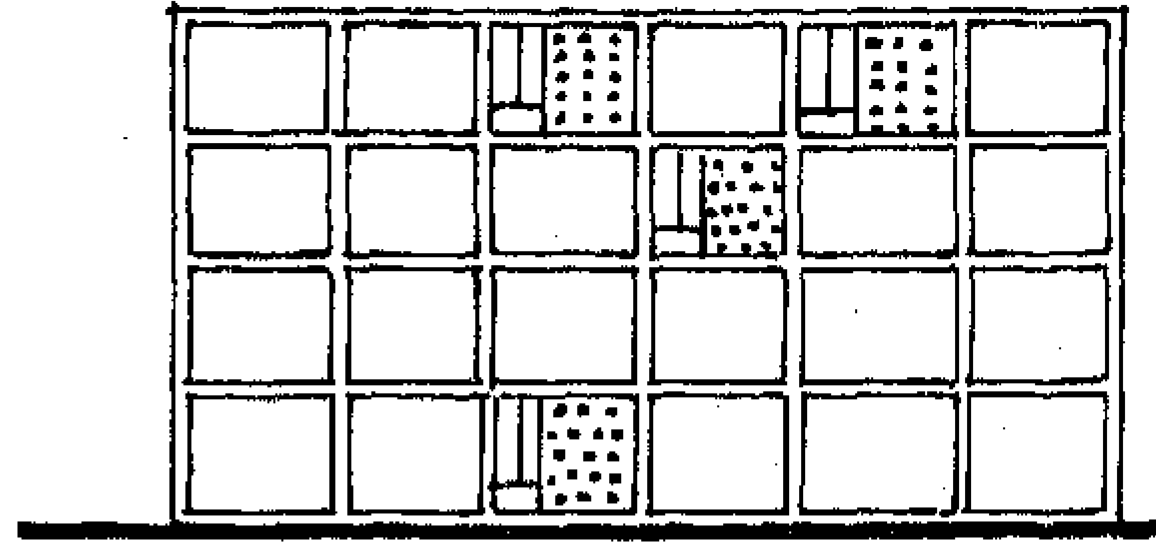
(شكل ٥٨١) واجهة مبنى قاعات المحاضرات فى جامعة عبدان بنيجيريا (المهندسان المعماريان ماكسويل فراى وجان درو بلندن) .

(شكل ٥٨٢) المقر الرئيسى لبنك لامبرت بيروكسل (المهندسون المعماريون سكدمور وأوين وميريل والإنشائى ويدلنجر) .

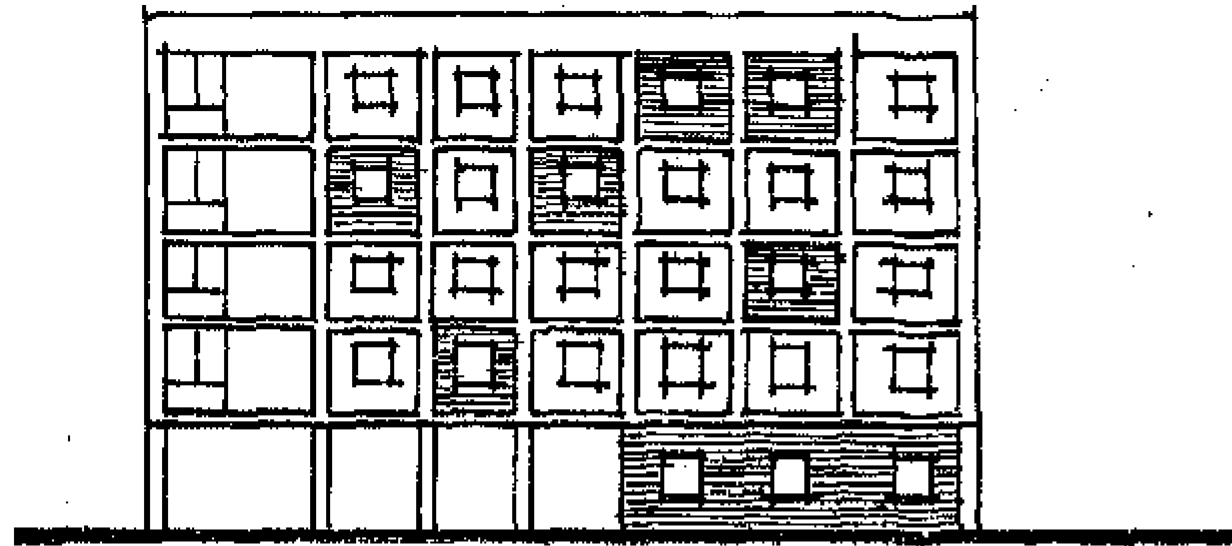
شكل ٥٨٣



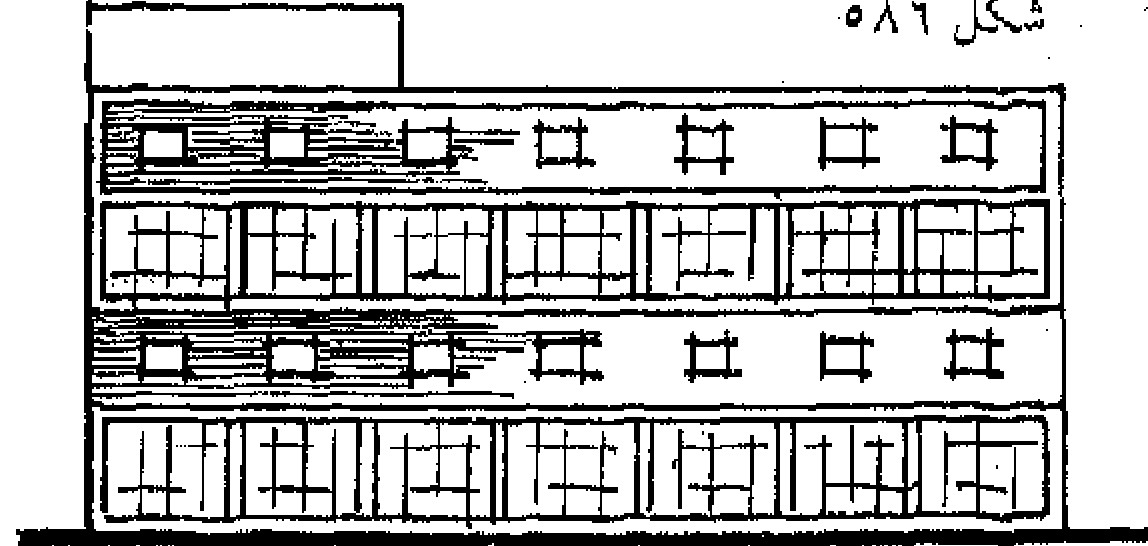
شكل ٥٨٤



شكل ٥٨٥



شكل ٥٨٦



شكل ٥٨٧



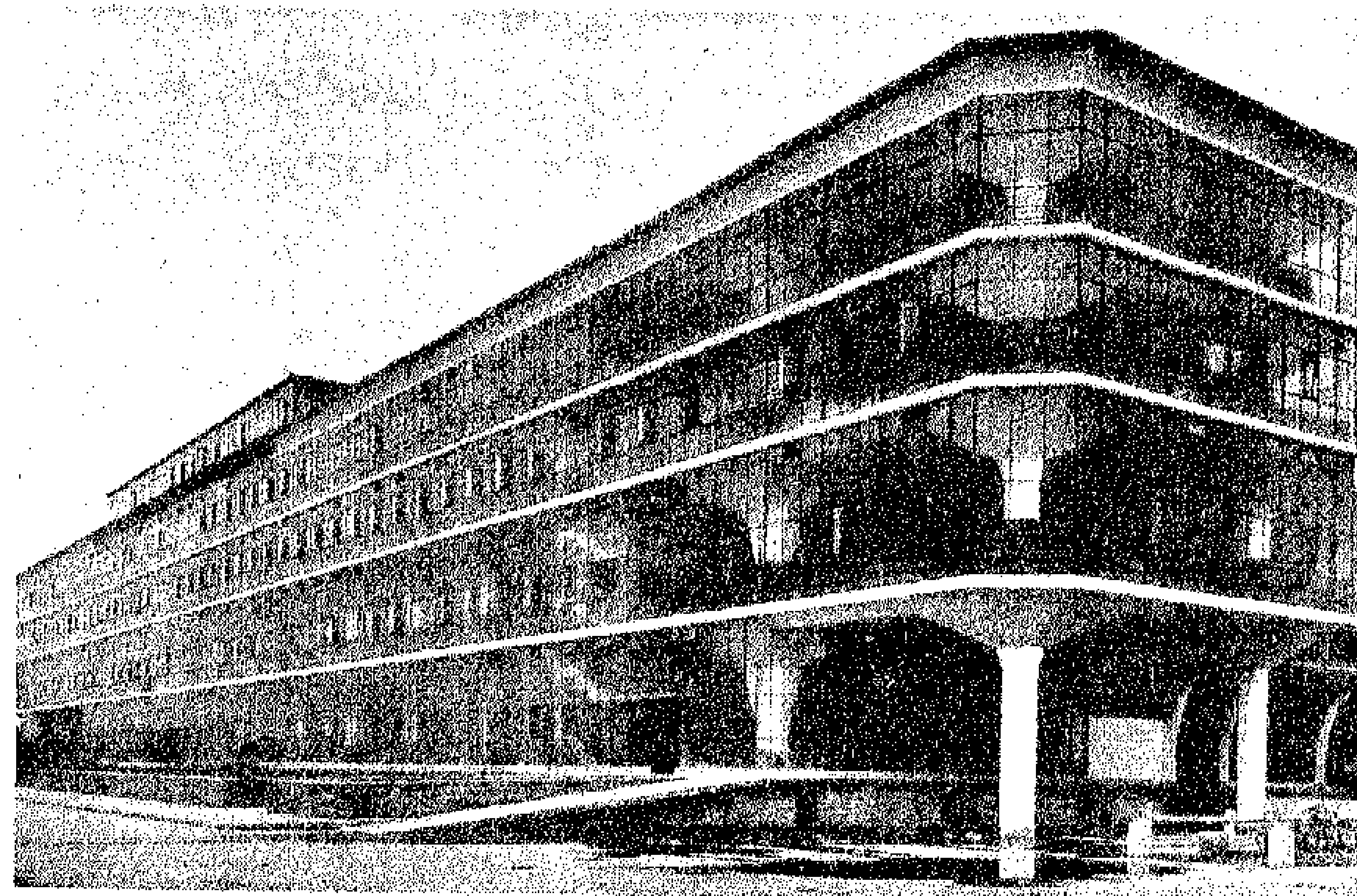
تأكيد الإنشاء الصندوقي — دور المسطحات غير الفعالة

(شكل ٥٨٣) واجهة صندوقية ذات حائط خارجي غير فعال من الزجاج .
(شكل ٥٨٤) أسطح غير فعالة من مخرمات خرسانية أو فخارية .
(شكل ٥٨٥) مشروع منزل طلبة في لندن من الطوب (المهندس المعماري ليونارد مايكلز) .
(شكل ٥٨٦) عمارة سكنية من ڤيلات في شارع كنمور بلندن .
(شكل ٥٨٧) عمارة هايبوينت في هايجيت بلندن

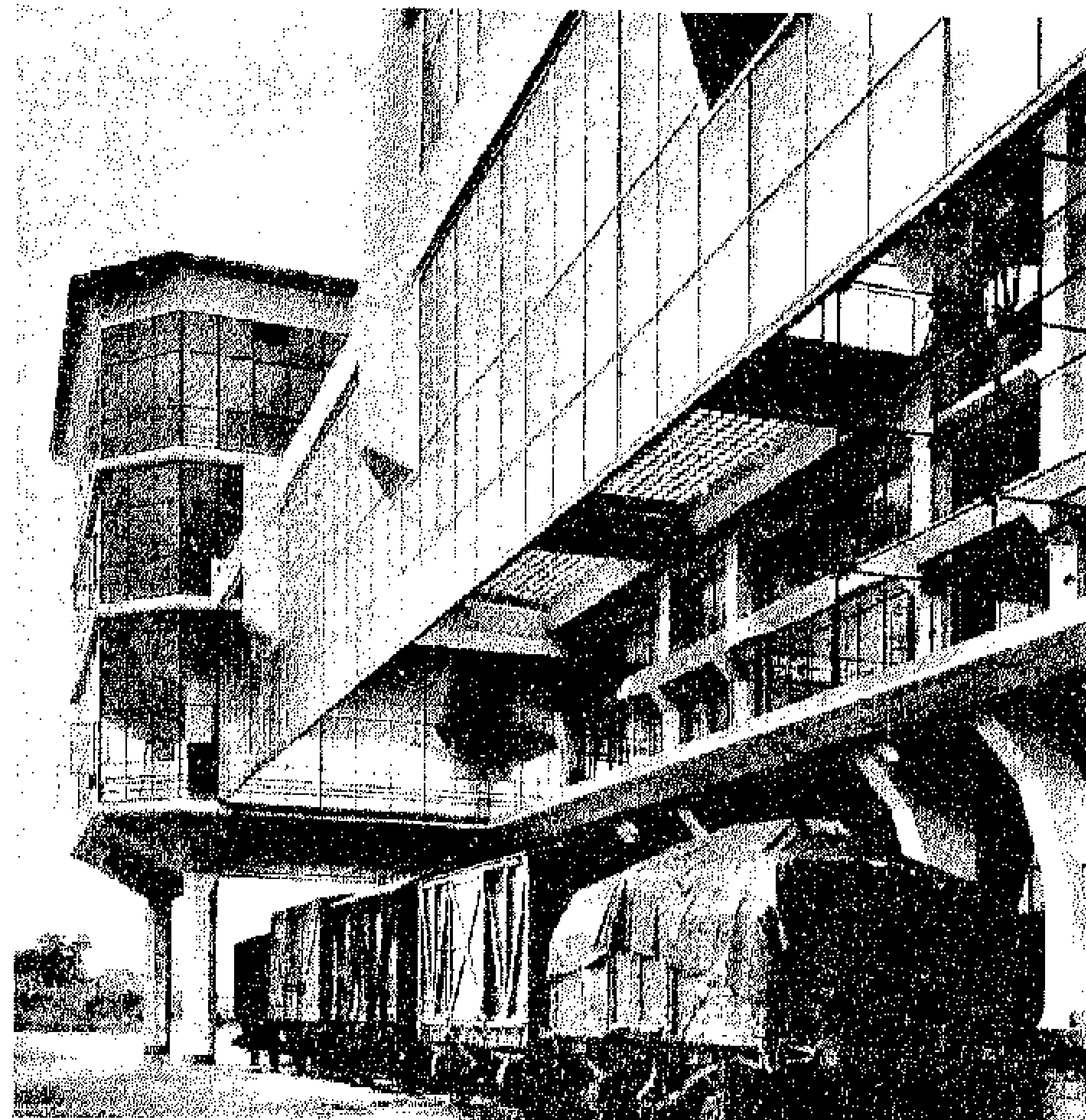
تأكيد الإنشاء بالأعمدة المشرومية

(شكل ٥٨٨) مصانع شركة بوتزبيور درج في بيستن بإنجلترا — واجهة أمامية .
(شكل ٥٨٩) واجهة جانبية بالمصانع المذكورة .
(شكل ٥٩٠) مصانع فان نل برورتردام بهولندا .

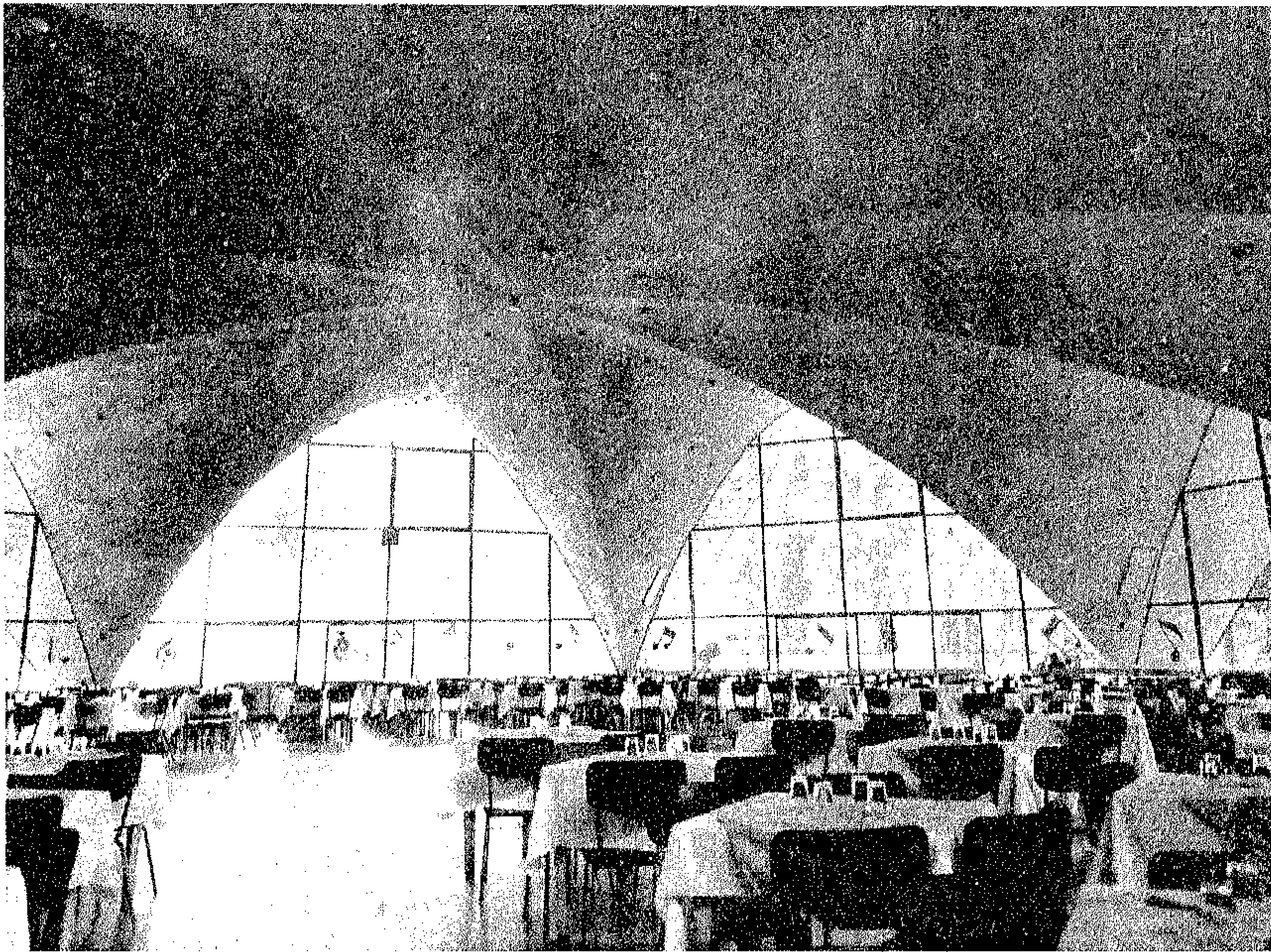
شکل ۵۸۸



شکل ۵۸۹



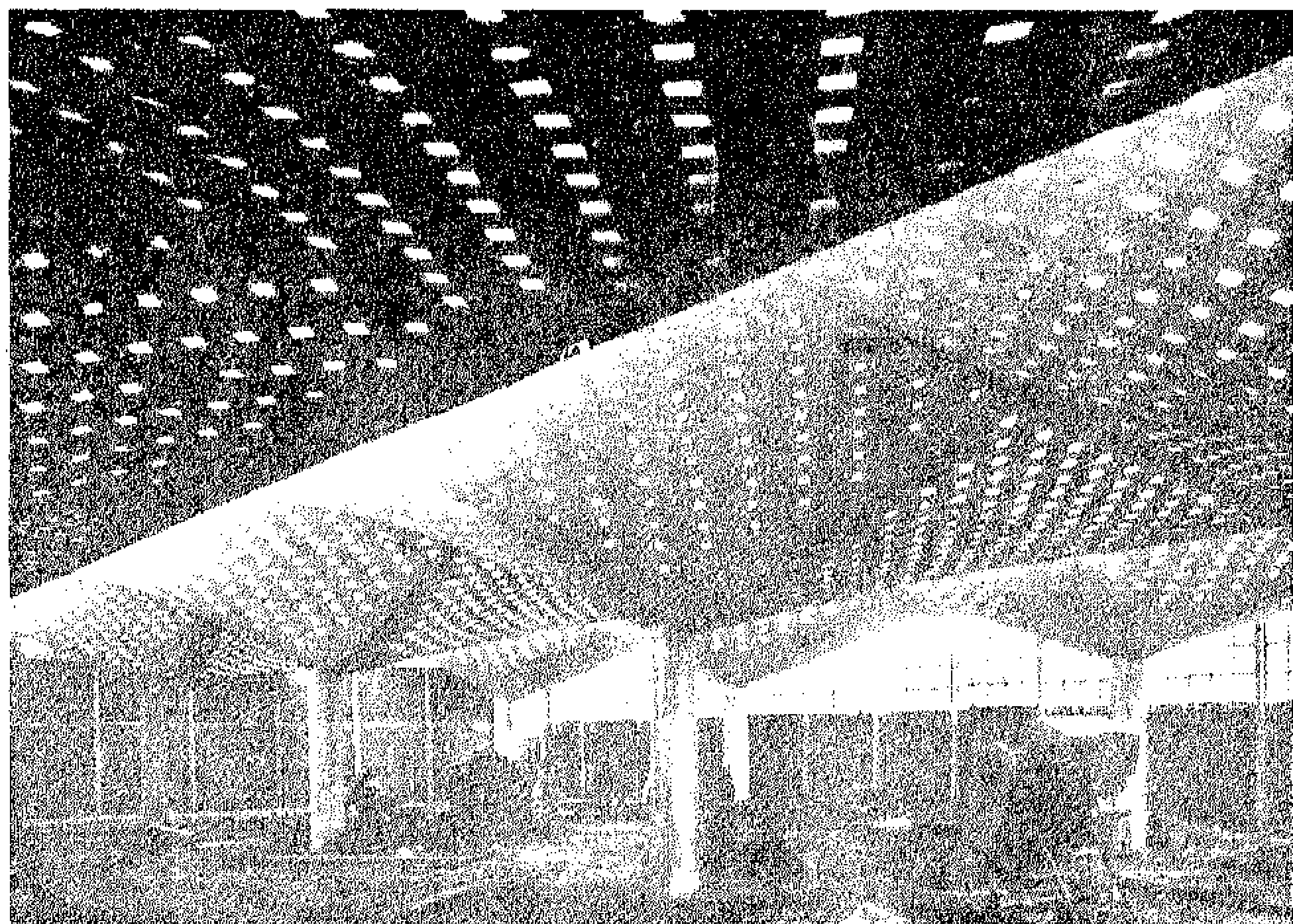
شکل ۵۹۰



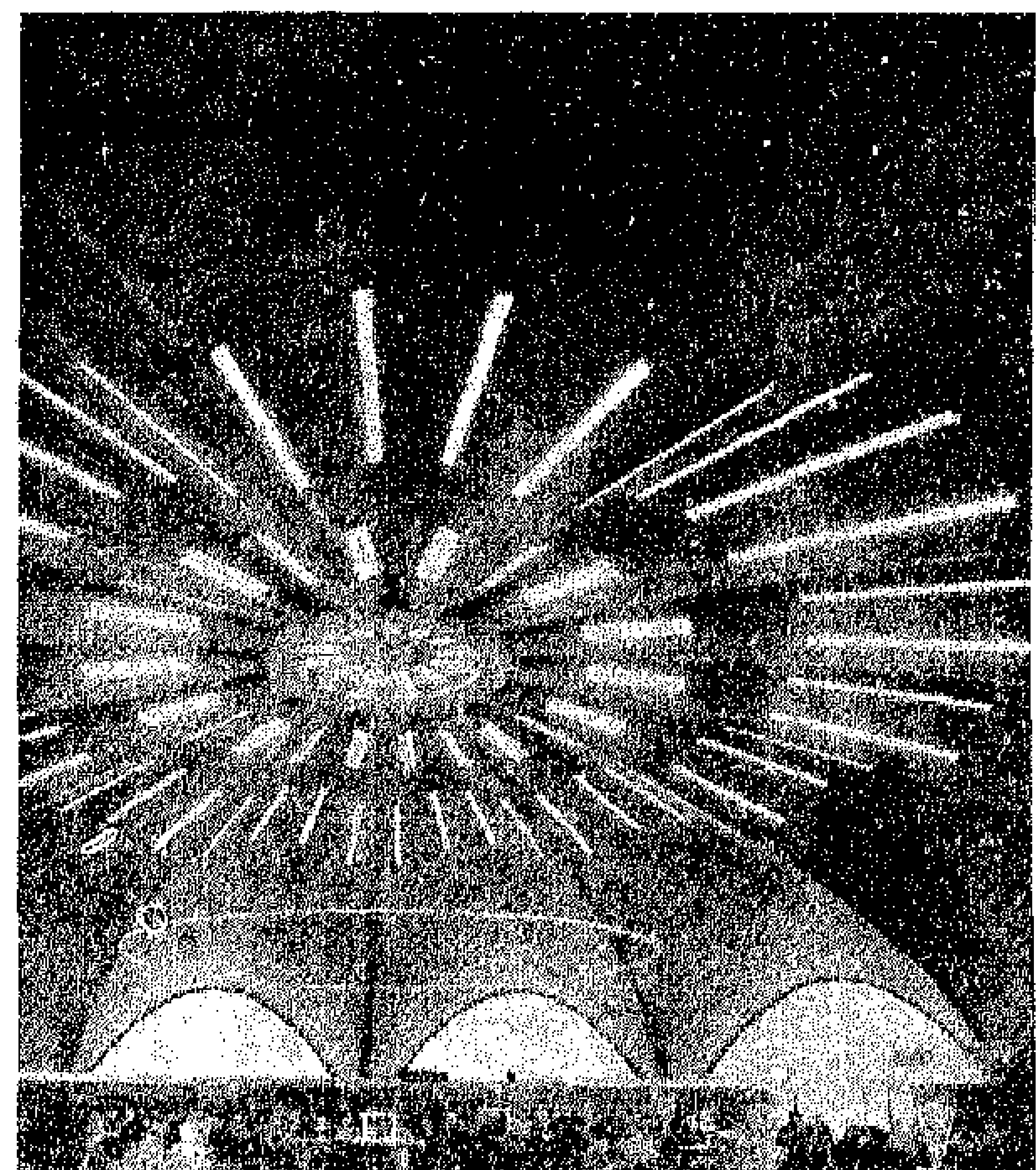
تأكيد الإنشائى القشرى – دور الفتحات

(شكل ٥٩١) منظور داخلى فى مطعم لوس مانتيالس بمدينة أكسوشيملكو بمكسيكو .
(شكل ٥٩٢) مخزن مكسيكى من تصميم كاندلا .
(شكل ٥٩٣) صالة سوق رويان بفرنسا – منظور داخلى .

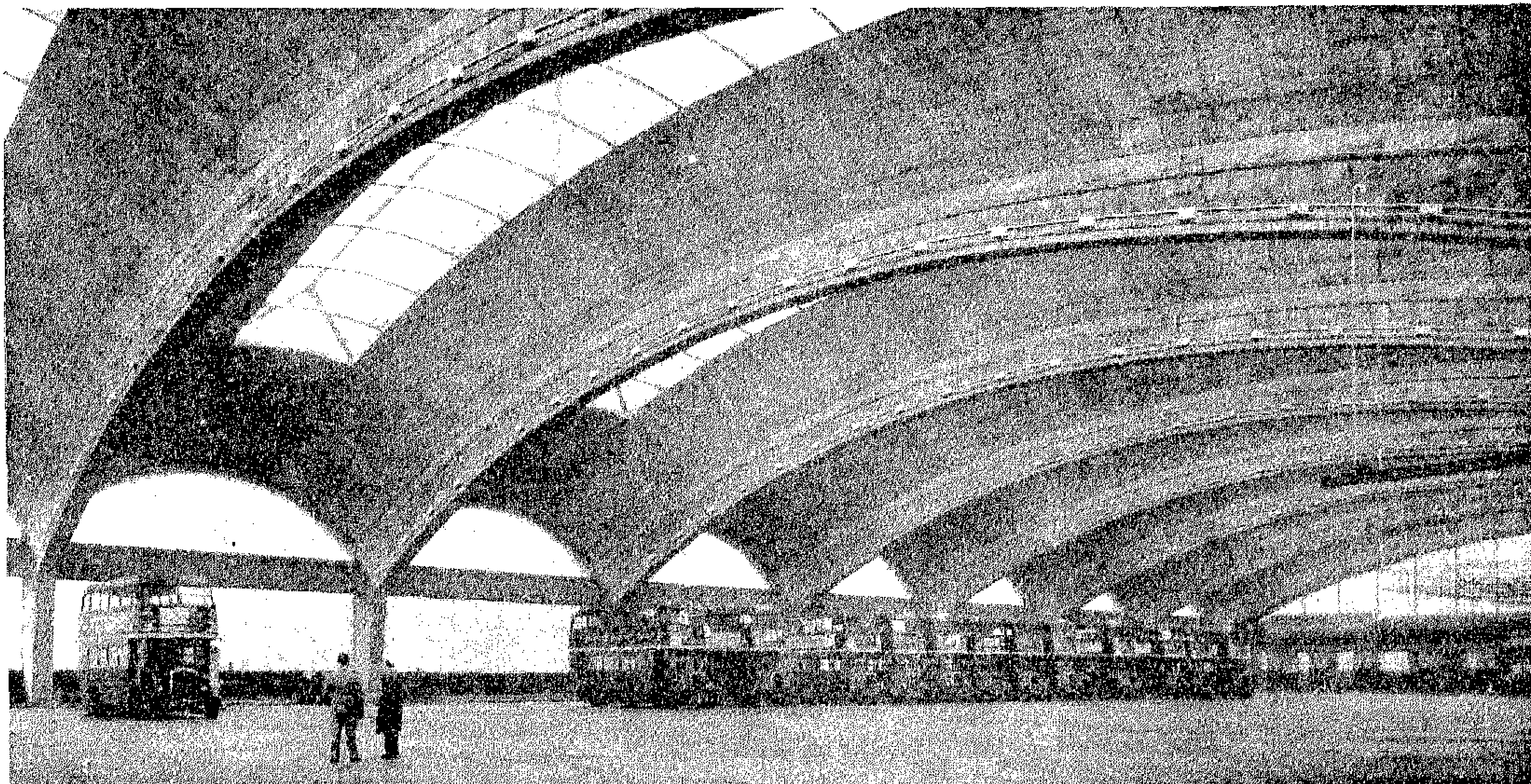
شكل ٥٩٢

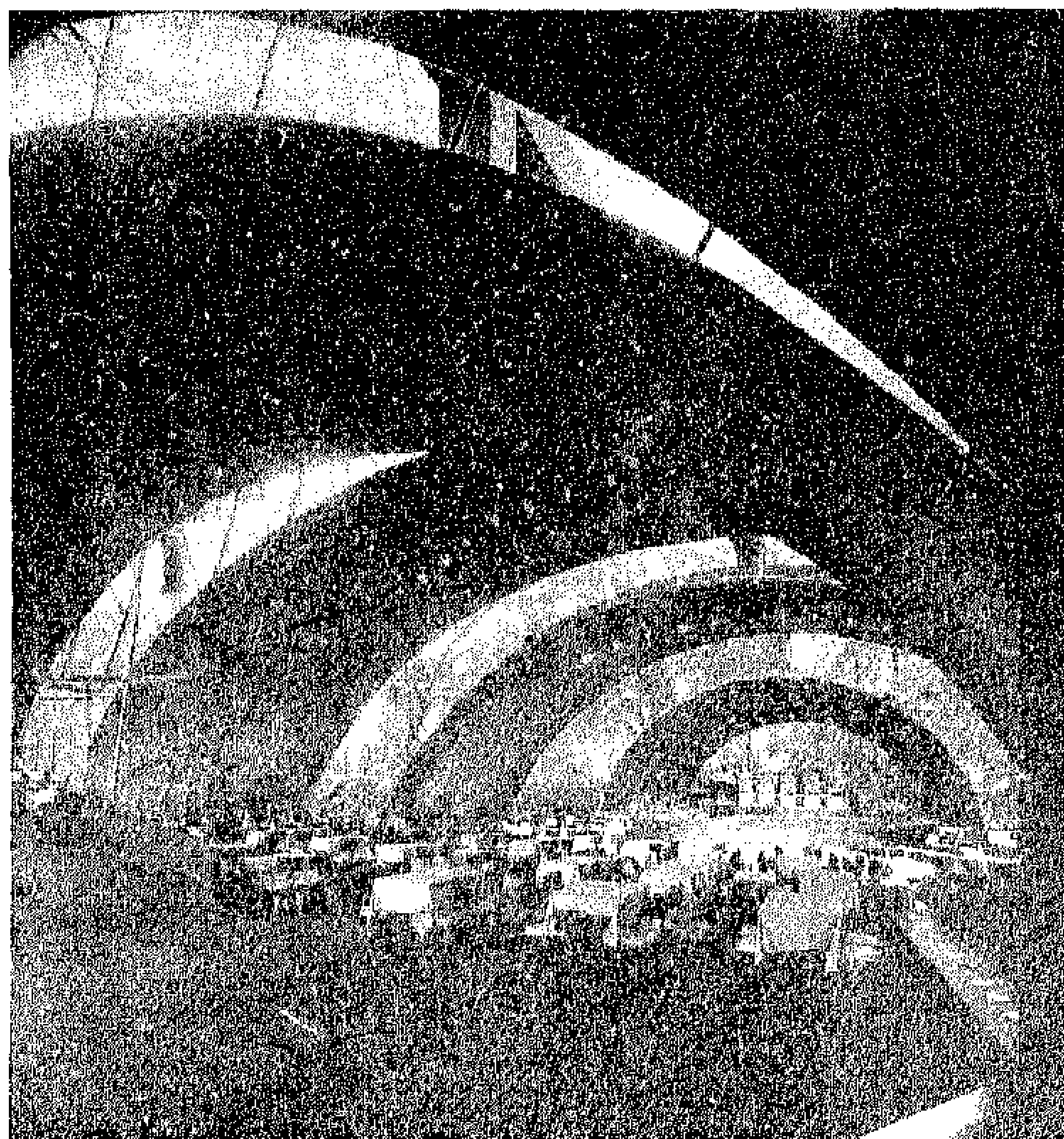


شكل ٥٩٣



شكل ٥٩٤



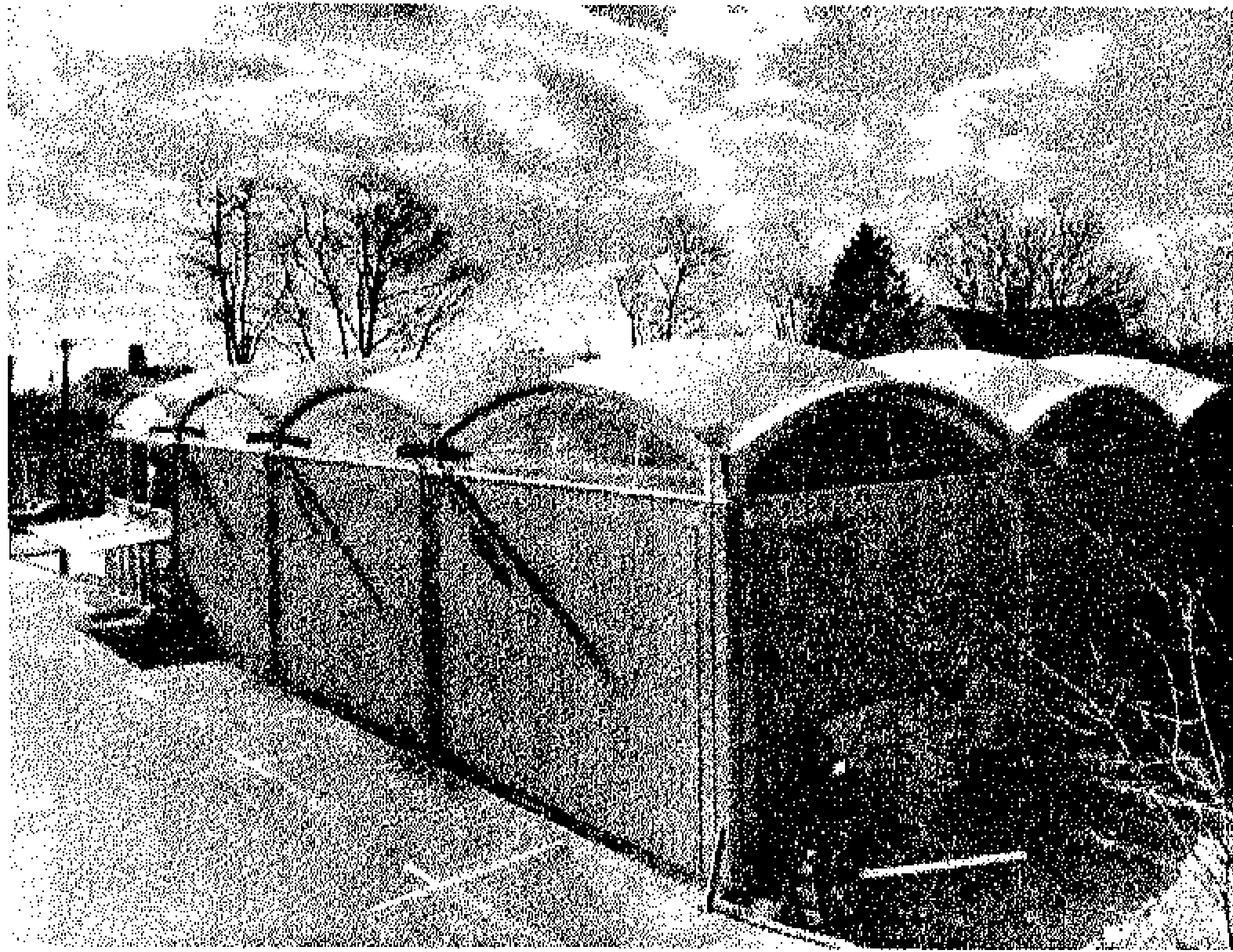


شكل ٥٩٥

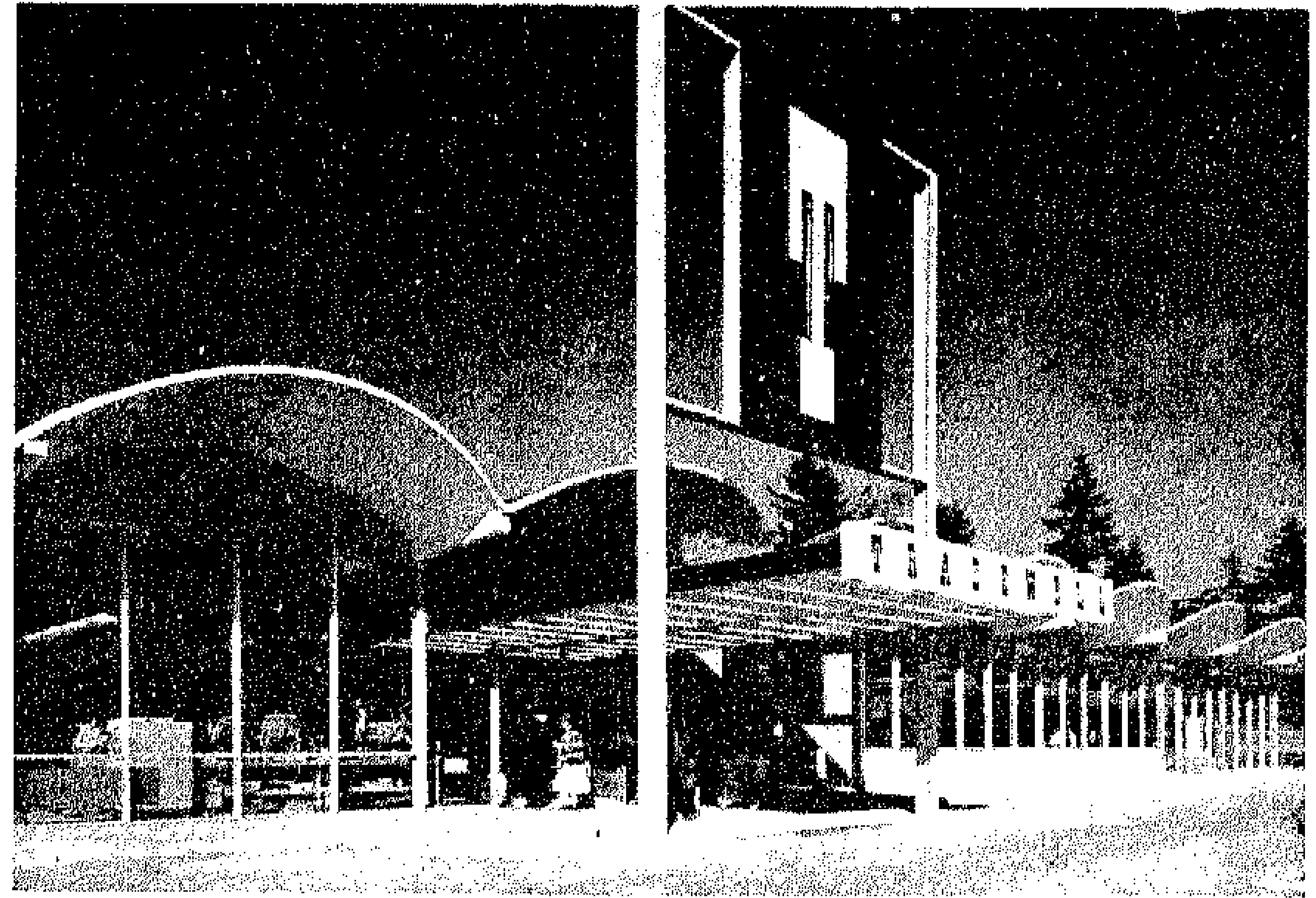
تأكيد الإنشاء القشرى — دور الفتحات

(شكل ٥٩٤) جراجات ستكويل للأوتوبيسات بلندن .
(شكل ٥٩٥) صالة نادى تروبيكانا بهافانا كوبا (المهندس المعمارى / ماكس بورجس) .

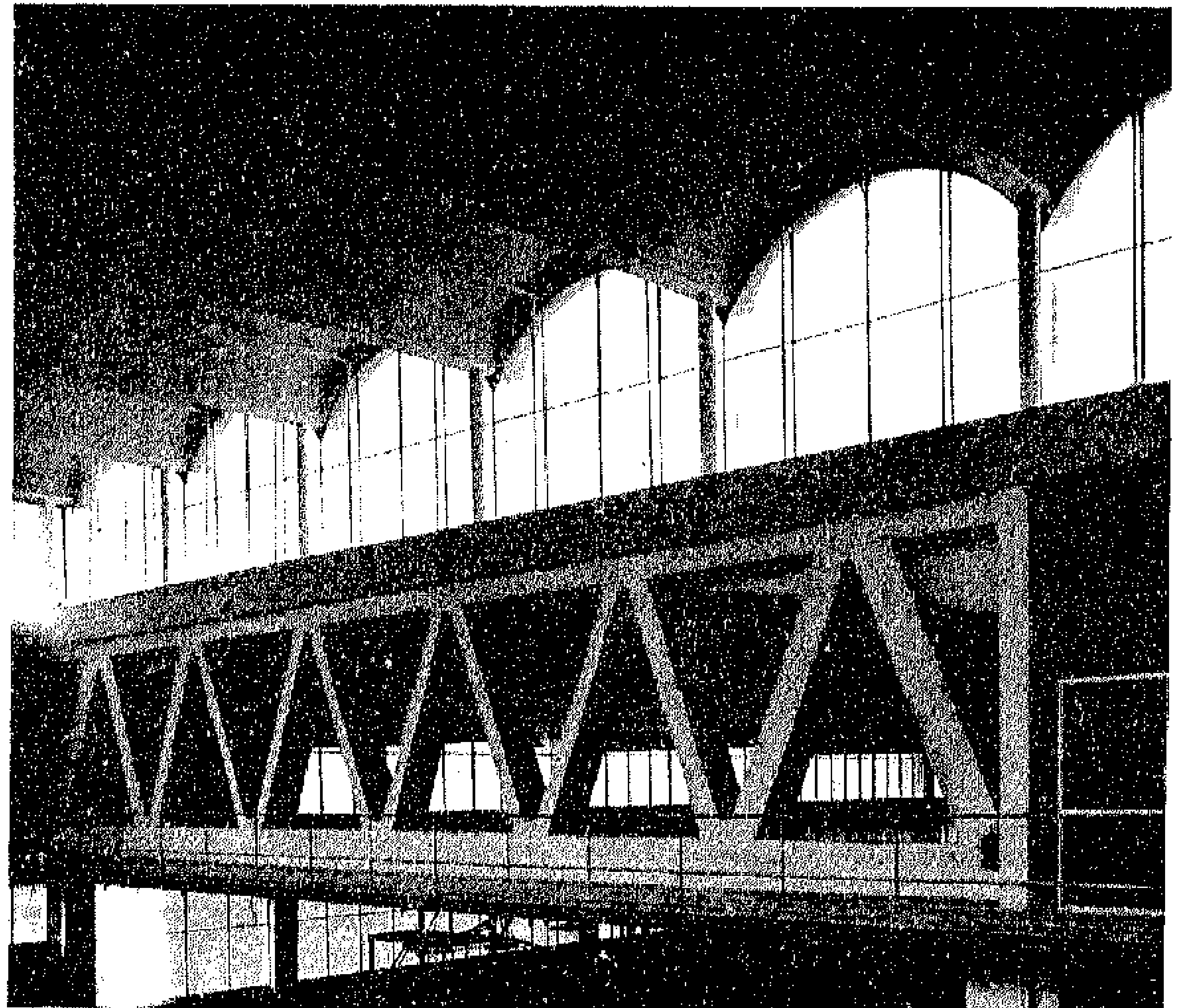
شكل ٥٩٨



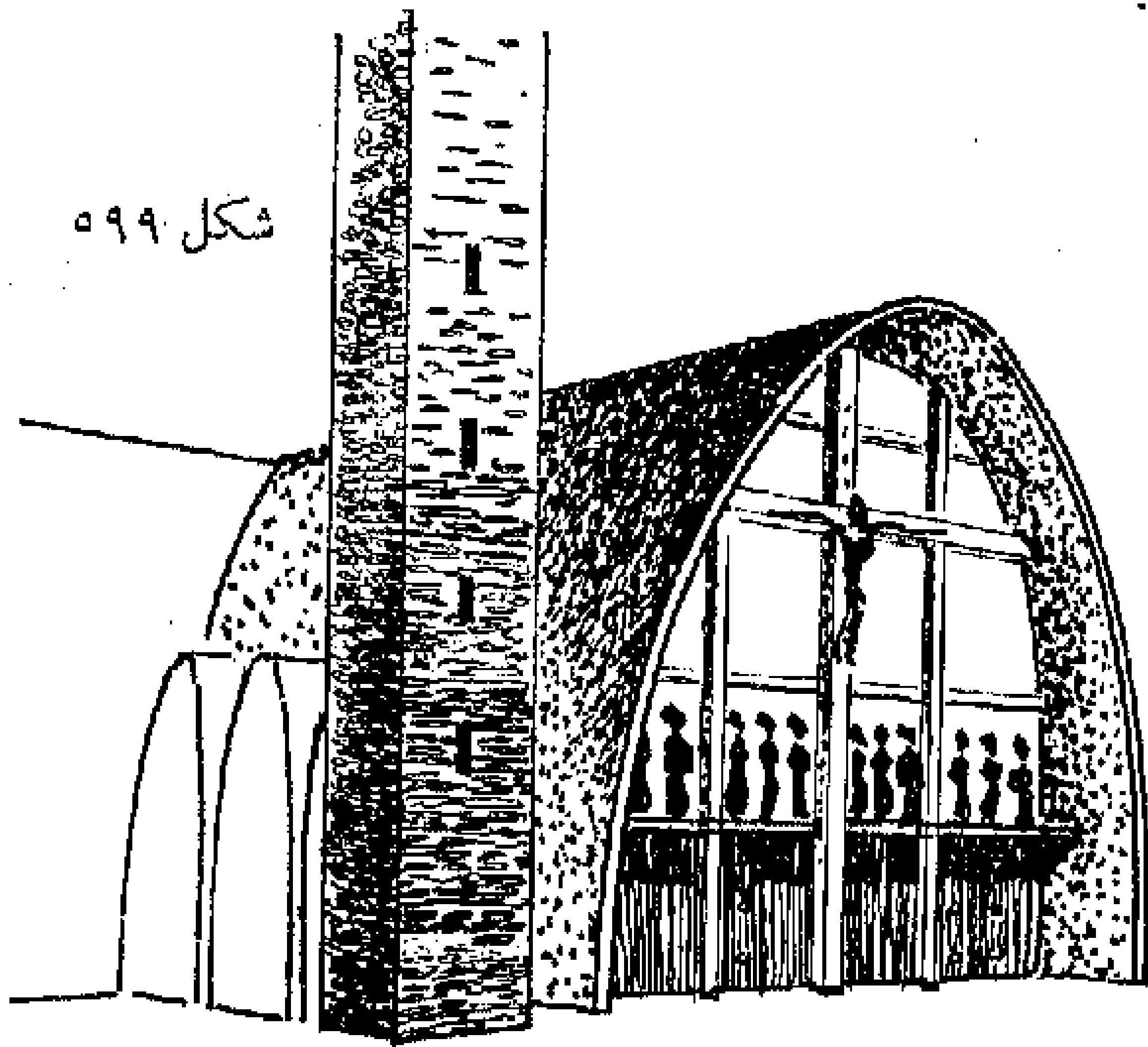
شكل ٥٩٦



شكل ٥٩٧



شكل ٥٩٩



تأكيد الإنشاء القشرى — دور المسطحات غير الحاملة

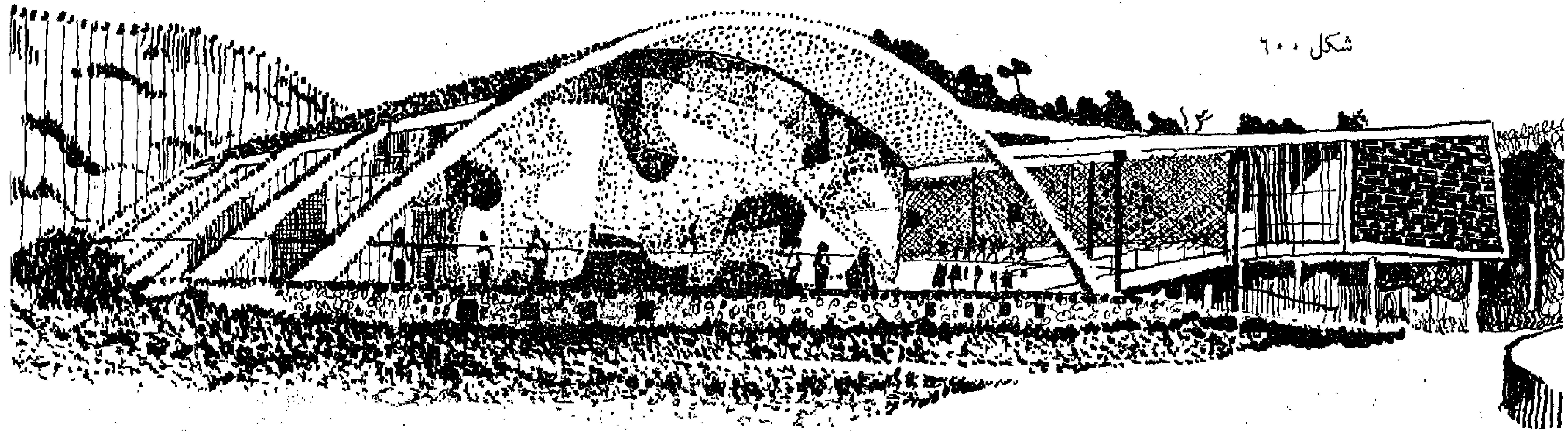
(شكل ٥٩٦) سوق تريدول بمدينة بورن بولاية واشنجطن. (المهندسون المعماريون ولتون بيكت وشركاه).

(شكل ٥٩٧) مصانع انفيلد فى برنمارو بمقاطعة ويلز الجنوبية بإنجلترا

(شكل ٥٩٨) منظور خارجى لسوق ستيوارت فى مدينة نيوكانن بولاية كتكتكت. (المهندس المعمارى فكتور كرايست — جانر والإنشائيون سالڤادورى ووید لنجر).

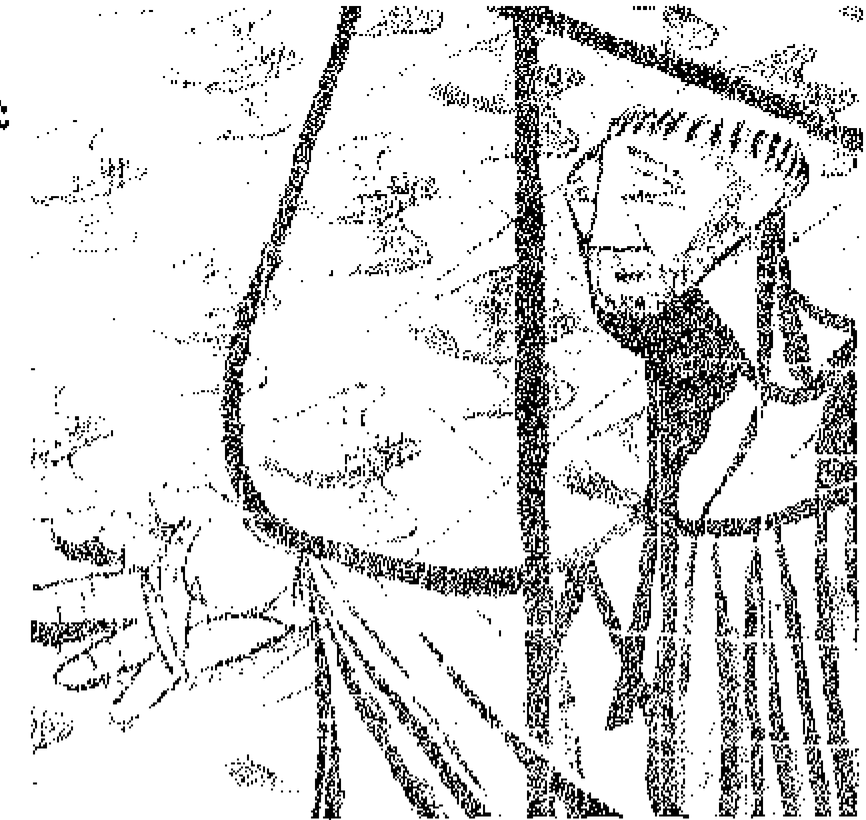
(شكل ٥٩٩) كنيسة بيورزما فى مونترى بمكسيكو.

شكل ٦٠٠



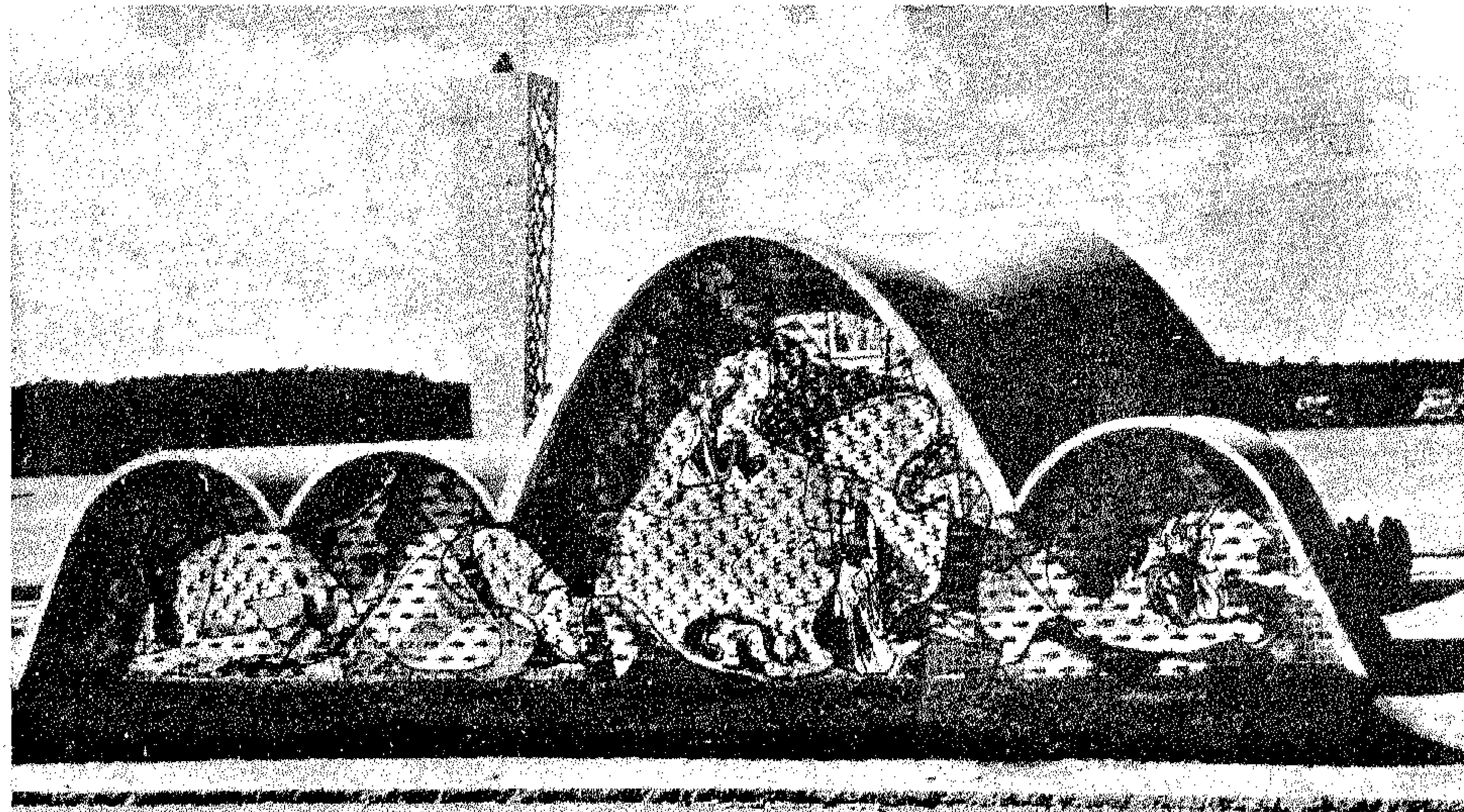
تأكيد الإنشاء القشرى — دور المسطحات غير الحاملة المقفلة

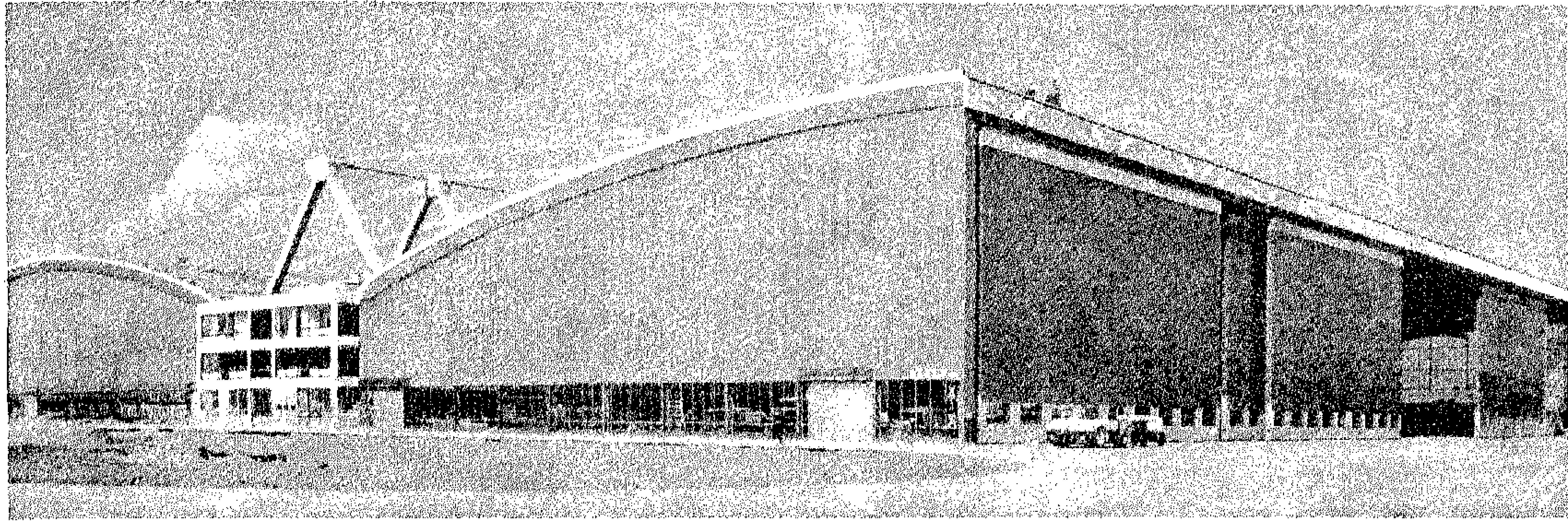
شكل ٦٠١

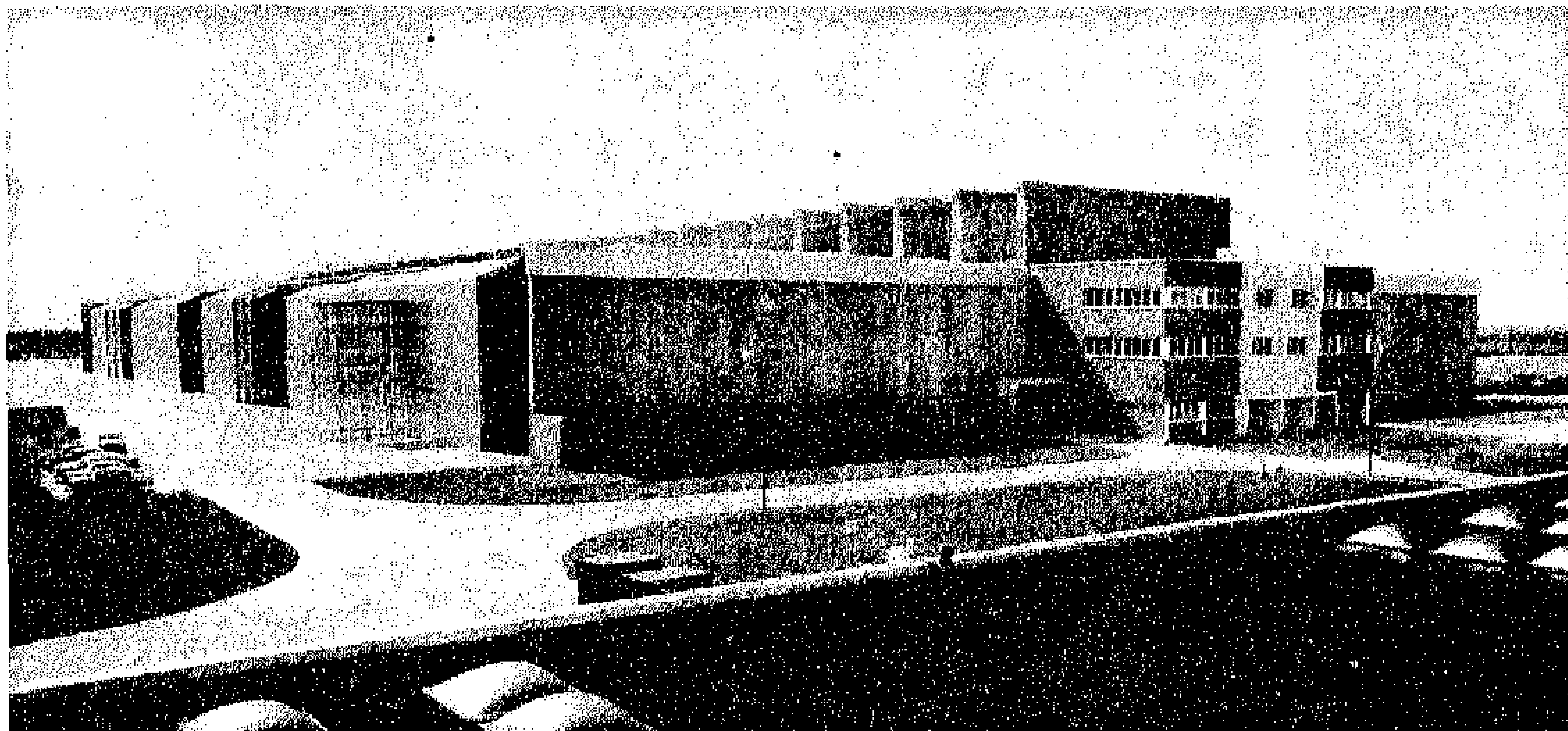


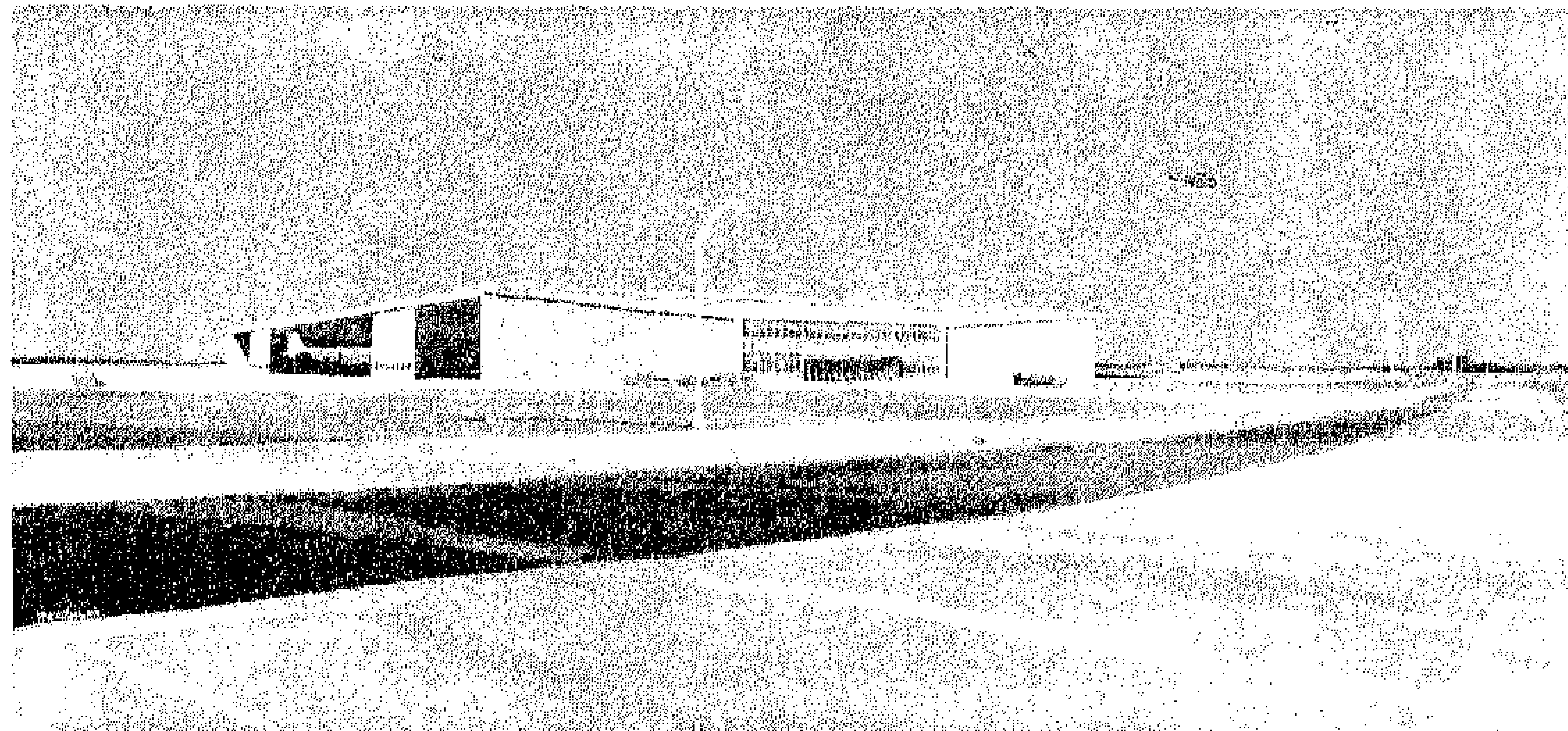
(شكل ٦٠٠) مدرسة ابتدائية وجمنازيوم فى شارع كابتاو فيلكس فى ريودى جانيرو بالبرازيل (المهندس المعمارى أفونسوريدى).
(شكل ٦٠١) تفصيلة لوحة بورتنارى السراميكية المزججة على كنيسة القديس فرانسس بمدينة بامبولها فى بيللو هوريزونتى بالبرازيل عام ١٩٤٥ (المهندس المعمارى أوسكار نيماير).
(شكل ٦٠٢) واجهة الكنيسة المذكورة.

شكل ٦٠٢




شكل ٦٠٣


شكل ٦٠٤


شكل ٦٠٥

تأكيد الإنشاء ذو المسطحات الفعالة

دور المسطحات غير الحاملة المقفلة

(شكل ٦٠٣) – حظيرة طائرات شركة لوفتهانزا بمدينة فرانكفورت . (المهندسون المعماريون أوتو أبل وشركاه) .

(شكل ٦٠٤) – حظيرة طائرات شركة الخطوط الجوية العالمية بمدينة نيويورك . (المهندسون مكتب أمان وويتنى) .

(شكل ٦٠٥) – حظيرة طائرات سابقة الإجهاد (شركة روبرتزوشيفر) .

الخاتمة والمراجع

الخـــاتـمة

الخرسانة المسلحة تشكل لغة جديدة للعمارة — لغة تستوحى أشكالها الفريدة من اتجاه إنشائى ثورى جديد تغذيه آلاف من البحوث والتجارب والحسابات فى مادة قديمة قدم البارثنون ، حديثة حداثة قصر الرياضة فى روما . والاثنان تجمعهما مدينة واحدة ، ويفرقهما ألفا عام من التطور المعمارى الإنشائى المتفرق فى اتجاهات وفلسفات مختلفة متباينة . الاثنان غلفتهما قبتان : غطت الأولى فراغاً دائرياً قطره أربعة وأربعون متراً بسمك مصمت من ١٫٢٠ م إلى ٣٫٥ م من الخرسانة والطوب ، والثانية غطت فراغاً داخلياً دائرياً قطره ستون متراً بسمك عشرة سنتيمترات ، وأعصاب سمكها أربعون سنتيمتراً من الخرسانة والحديد . وبين التحفتين المعماريتين يظهر مدى استمرار التطور المعمارى الإنشائى بالخرسانة ومدى التقدم الذى حدث فى إمكانيات المادة والإنشاء .

لقد تخطت الخرسانة المسلحة مرحلة البحث عن الشخصية المعمارية الخاصة بها . هذه المرحلة سبقتها بالطبع اكتشافات تكنولوجية بمكتشفين أوائل لم تجمعهم صلة كافية لانتقال المعلومات والاكتشافات من أحدهم للآخر . وقد ثبت على غير ما هو سائد دور طليعى لمكتشفين أمريكيين هما هايات ووارد فى هذه المراحل الاكتشافية الأولى للمادة المستحدثة . ومن الطبيعى أن المادة عولجت فى أول الأمر المعالجة المعمارية السائدة لغيرها من المواد . وقد كان الإنشاء الهيكلى السابق تطبيقه على الخشب والحديد الزهر والصلب هو الحل الإنشائى الأول للخرسانة المسلحة . كما كسيت الهياكل الخرسانية فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر بوجهات إكلكتيكية من فكتورية غوطية ، إلى كلاسيكية على طراز الإمبراطورية الثانية ، إلى رومانسكية بيزنطية ، إلى كلاسيكية أكاديمية أو متأثرة بطرز الشرقين الأوسط والأقصى . وقد استمر ذلك الانقسام بين العمارة والإنشاء طوال القرن التاسع عشر وإلى درجة ملحوظة فى القرن العشرين .

وبالتدريج ابتدأ الإدراك بالإمكانيات الإنشائية الخاصة للمادة يزداد ، وخرج للوجود أهم اكتشاف إنشائى للقرن العشرين : البلاطة الإنشائية الفعالة التى لا تحدها إمكانيات طبيعية أو اقتصادية أو علمية ، البلاطة التى تعمل فى اتجاهات متعددة وتتكيف بأشكال حسب رغبة المصمم . تحرر الإنشائى فجأة

فى تصميماته من قيود الحجر وإمكانيات قطعه ونقله سليماً وبأحجام صغيرة، ومن قيود الخشب وضرورة معالجته فى خطوط أو بلاطات ذات عروض وأطوال محدودة تعمل كل منها مستقلة ، وقد تتصل الأجزاء عن طريق المسمار أو اللصق ، ولكنها لن تتحول إلى أسطح كبيرة مستمرة . كما تحرر من قيود الحديد الزهر والمطاوع والصلب ومن ضرورة توافر المواد الخام والصناعة المتطورة بطرق ومعالجات على درجة عالية من المهارات مع الارتباط بأشكال وحدات خطية ، وضرورة الاستعانة بحشوات مستقلة لتقفيل الفراغ ، ومغلفات عازلة لحماية المنشأ من الحرائق . لقد قاد المهندسون – من أمثال مايار فى سويسرا وتيرنر فى أمريكا وفريسينيه فى فرنسا – الطريق لثورة إنشائية من نوع جديد .

العمارة فى هذه المرحلة – السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر والأولى فى القرن العشرين – ثارت على حركة التقليد والمحاكاة منادية بالاعتراف بالمواد الجديدة محققة لإمكانياتها الإنشائية والجمالية عن طريق أعمال وكتابات رتشاردسون وساليفان ورايت فى أمريكا ، وهورتا وواجنر ولوس وبرلاج وأوود وغيرهم فى أوربا . غير أن استعمال المعماريين الأوائل ، من أمثال بوديه وبيريه وجارنييه للخرسانة سار فى طريق استعمال تكوينات إنشائية خطية سائدة فى الإنشاء الخشبى والمعدنى ، فى حين أن البلاطات الإنشائية والصدفات القشرية كانت من الحلول الشائعة لدى الإنشائيين .

لقد فتح المجال لتجارب إنشائية قادها الإنشائيون وتوصلوا فيها لتجميعات هندسية جديدة ، وأصبح أمام المعماريين إمكانيات واسعة من التكوينات الجديدة المشجعة . لقد زال الجمود الذى جلبه الارتباط بالقفص التكعيبى وتصرفاته وحلياته المختلفة وانطلق التشكيل المعمارى إلى مجال الاستمرار الهندسى والمادى على مستوى الوحدات الإنشائية الخطية أو المستوية . انتقل الإنشاء من مجال الزوايا القائمة الناتجة عن الرأسيات والأفقيات إلى الاستمرار الذى يحقق وفراً هائلا فى استعمال المادة . وابتدأت مرحلة تجريبية تحت قيادة الإنشائى ، وتجاوبت العمارة ببطء وتردد ناتج عن عدم دراية كافية بالأسس الإنشائية المستحدثة ، وبآثارها وإمكانياتها المعمارية .

فى هذا المجال تابع الكيميائيون ورجال الصناعة مجهوداتهم التى لاتقل أهمية عن مجهودات الإنشائى والمعمارى لتطوير المادة ومكوناتها . وما زالت الخرسانة إلى اليوم تمر بتجارب قصيرة وطويلة الأمد – وهى تزداد قوة ومتانة واحتمالا على مرّ الزمن ، كما أن قوتها فى الشد ما زالت تحت التجارب . وفى متناول اليد الآن أنواع متباينة من الأسمنتات ، وما زالت أنواع أخرى فى مجال التطوير المعملى . وقد توصلت الصناعة إلى حديد تسليح بقوة عالية فى الشد مع تماسك أكبر بالخرسانة المحيطة . وقد كانت الشدات

المؤقتة وما زالت المشكلة العملية والاقتصادية فى الإنشاء الخرسانى . فقد بلغت من التعقيد وكثرة التكاليف ما فاق تكاليف المنشأ ذاته . وقد ظهرت بوادر حل هذه المشكلات عن طريق الدراسة الجدية لسبق التجهيز . ومن أبرز تطوراته الوصول إلى تكوين المنشأ عن طريق وحدات سابقة التجهيز يتم تجميعها على موقعها وشكلها النهائى بواسطة خرسانة مصبوبة على الموقع . وقد يلعب سبق الإجهاد دوراً كبيراً فى حالة الأسقف الأفقية أو البسيطة الانحناء والمجمعة بنفس الطريقة السابقة . والمجال التطبيقى لهذه الطريقة بالإضافة إلى مزاياها الاقتصادية فى توفيره الشدة واسع بلا حدود ، فأكثر الإنشاءات تعقيداً وأوسعها بحوراً يمكن تكوينها ببساطة من وحدات صغيرة خفيفة الوزن تتجمع فى هيكل متماسك بدون حاجة إلا إلى روافع بسيطة . وفى الاعتقاد أن الجمع بين سبق التجهيز والصب على الموقع هو الحل الأمثل لمشكلات الإنشاء الخرسانى المعقد ، وبخاصة بالنسبة للبلاد النامية .

ومن الأهمية بمكان ، إذا قدر للمعمارى أن يحتل مكانه السليم فى تطوير عمارة الخرسانة المسلحة ، أن يتخطى الهوة الموجودة حالياً بين الحقيقة الإنشائية والخلق الفنى . وقد تتبعت الدراسة الحالية تلك الحقيقة الإنشائية بالخرسانة المسلحة من أبسط التكوينات وأقلها تعقيداً ، وهو العمود والعتب إلى نهايتها نحو التكوين الكروى المتكامل . وقد أثبتت الدراسة أن هناك علاقة تسلسلية تجمع جميع التكوينات الإنشائية على أساس هدف رئيسى وهو الاستمرار على مستواه الهندسى والمادى ، ذلك الهدف الذى يحقق تماسك أجزاء المنشأ المختلفة مع إلغاء عزوم الانحناء مما يضمن كفاية أكبر فى استعمال المادة ، وإمكانيات أوسع فى التغطية ، وتطوراً هائلا فى مجال التشكيل المعمارى . ولأول مرة ، وعلى أوسع نطاق ، توصل المصمم إلى مصدر جديد للقوة من دراسته للمخلوقات العضوية من نباتية وحيوانية — فبدلا من أن تكون القوة نتيجة للكتلة أصبحت نتيجة للشكل . وقد أصبح هذا هدفاً إنشائياً جديداً كفيلا بتغيير الشكل المعمارى .

هذا المبدأ المستحدث الذى طور الإنشاء نحو الاستمرار الهندسى والمادى فى المستويات ذات التكسيرات أو الانحناءات المفردة أو المزدوجة تقابله معمارياً احتمالات عديدة وصعوبات مماثلة . فهو بجانب ما يتيحه من إمكانيات جديدة فى الفراغات الواسعة التى تتطلبها احتياجاتنا المعمارية المعاصرة يتطلب دراسات لتخطى صعوبات كثيرة. لملاءمته لأنواع الفراغات المعمارية المتنوعة . كما تتطلب التفصيلات المعمارية المختلفة من مداخل وفتحات للإضاءة والتهوية وحوائط وسلالم ومستويات متعددة معالجات معمارية مناسبة . هذا بخلاف مشكلات الصوت والإضاءة والعزل الحرارى والمياه وغيرها

من المشاكل التى هى الآن محل بحوث ومؤتمرات متعددة ، وقد نوقشت هنا هذه الاحتمالات كما بحثت وسائل معالجة مثل هذه الأسطح للجمع بين قوة الاستمرار المادى والهندسى مع الاحتفاظ بالمرونة المعمارية المصاحبة للإنشاء الخطى .

ومن الناحية الجمالية نجد أن الخرسانة المسلحة بطبيعتها كمادة بلاستيكية قوية تتيح اتجاهات واسعة للاستعمال والتشكيل ، ويتوقف كل اتجاه على مدى التركيز والاهتمام الذى يعيره المصمم لخاصية معينة من خواصها . فهى كمادة تتكون من جزئيات متفاوتة الحجم واللون مصبوبة فى قوالب قد تصل فى تعبيرها وثقلها وبدائيتها لما وصلت إليه أعمال لوكوروبوزيية بعد الحرب العالمية الثانية (Beton Brut) ، وما تبعه من أعمال المهندس اليابانى كنزو تانجى . وفى هذا الاتجاه مجال لتصرفات بالملمس واللون تمنح السطح طاقة بصرية غير محدودة .

وقد يذهب المعمارى إلى التقيد فى تشكيلاته بالخرسانة بإمكانيات الخشب على أساس دوره الهام فى صناعتها ، الأمر الذى نادى به وطبقه المعمارى بيريه . فاستعملها فى خطوط مستقيمة فى أعمدة وكمرات ، وهنا تختلط صفات المادة بصفات الغلاف المؤقت اختلاطاً لا يسوغه الاستعمال السليم للمادة ذاتها .

والحرية التى أتاحتها الخرسانة المسلحة فى التشكيل الذى يناسب القوة الإنشائية أنتجت — كما اتضح — أشكالا جديدة . هذه الأشكال مغايرة تماماً لما تعودت عليه العين البشرية فى خبرتها بالعمارة على مر العصور ، ليس فيها الحوائط الرأسية العمودية على الأرض ولا المستويات الأفقية الموازية لها . كما أن هذه التشكيلات لا تحتوى على الفتحات الرأسية أو الأفقية ذات الأعتاب الأفقية أو المعقودة ، والتى تتتابع مع الأكتاف من دور لآخر على إيقاع رأسى وأفقى خاص. أصبحنا نرى أشكالا بلاستيكية تتبع الكفاية الإنشائية رابضة على الأرض أو على أعمدة — هى أقرب إلى التكوينية المجردة بمعناها الحديث التى تفضل الأسطوانات والمخاريط والكمرات . وفى هذا المجال تكمن أسرار جمالها كأشكال هندسية بسيطة (stereo metric) تحت الضوء . هذه الأشكال ذات بروفيل انسيابى منحن يريح العين ، ويتوقف نجاحها على مدى مطابقتها للاحتياجات المعمارية للفراغ ومدى ملاءمتها للكفاية الإنشائية . كما يتوقف نجاحها جمالياً على مدى الإدراك البصرى لشكلها ومقياسها داخلياً وخارجياً عن طريق الفتحات ، أو التقاطعات ، أو التموجات ، أو الأعصاب .

ويتكامل التأثير الفنى للتصميم الخرسانى بتكامل الإدراك الفكرى للتشكيل المعمارى الناتج ، لأمر

الذى يتأتى عن طريق التعبير المباشر والمؤكد للمادة وطبيعتها وطرق صناعتها وطرق تجميعها وتشكيلها . وكلما تأكد هذا التعبير وضح الإدراك الفكرى والمنطقى للحقيقة الإنشائية والمعمارية ؛ الأمر الذى يؤدى إلى الجمال والمتعة الفنية .

وفى الختام لا يسع الباحث إلا أن يستخلص أن عمارة الخرسانة المسلحة على أبواب ثورة هائلة فى السطح والشكل تتبعها ثورة مماثلة فى التصميم والإحساس بالجمال . هذه الثورة ولو أنها حلقة فى سلسلة تطور تاريخى معمارى إلا أنها لا ترجع إلى الماضى * وهى تحمل فى طياتها بذور نضجها وتقدمها . هى ثورة لا تقتصر على بلد واحد ، بل على العكس فإن موادها الخام منتشرة فى أغلب مناطق العالم . كما أنها تتيح للبلاد النامية فرصاً اقتصادية لإشباع احتياجاتها الحادة للفراغات المعمارية الجميلة .

وإذا كانت الخرسانة المسلحة قد وصلت إلى مستوى مقبول من النضج كمادة إنشائية ، فإن أمام المعمارى مرحلة طويلة للوصول بها إلى نضج معمارى مماثل . ولكى يتحقق هذا النضج يجب أن يزداد الفهم وتتعمق الثقة بالمادة . وعندئذ تحل المرحلة القادمة للتطور التى عبر عنها الأستاذ ليوبولد أرنود فى تحليله للتطور التاريخى للعمارة :

« وكلما تقدمت المعرفة بالمادة الإنشائية وقواعدها الجمالية أصبحت المعالجة أكثر حرية وزخرفة ، تزداد فى النهاية إلى ثقة بالنفس قوية تعكس نفسها فى زخارف غنية وعبقرية تكنولوجية » .

والخطورة هنا فى الحرية التى تتيحها الخرسانة على مستوى السطح والشكل ؛ إذ أن فيها احتمالات إساءة الاستعمال . فقد تزدحم الزخارف أو تكبر التشكيلات وتتعقد لتصبح أفيالا رمادية رابضة على الأرض يتضاءل بجانبها الإنسان كما تتضاءل أعماله السابقة ، بدلا من أن يرتفع بها التراث الإنسانى ويزداد غنى ووقاراً . والفرق بين النتيجتين هو الفرق بين الخلق الفنى المبدع وبين مجرد استغلال الطاقات لكسر أرقام وإحصاءات سنة تلو الأخرى . ولتوجيه التطور المعمارى نحو الوجهة الأولى كان الهدف من هذا الكتاب .

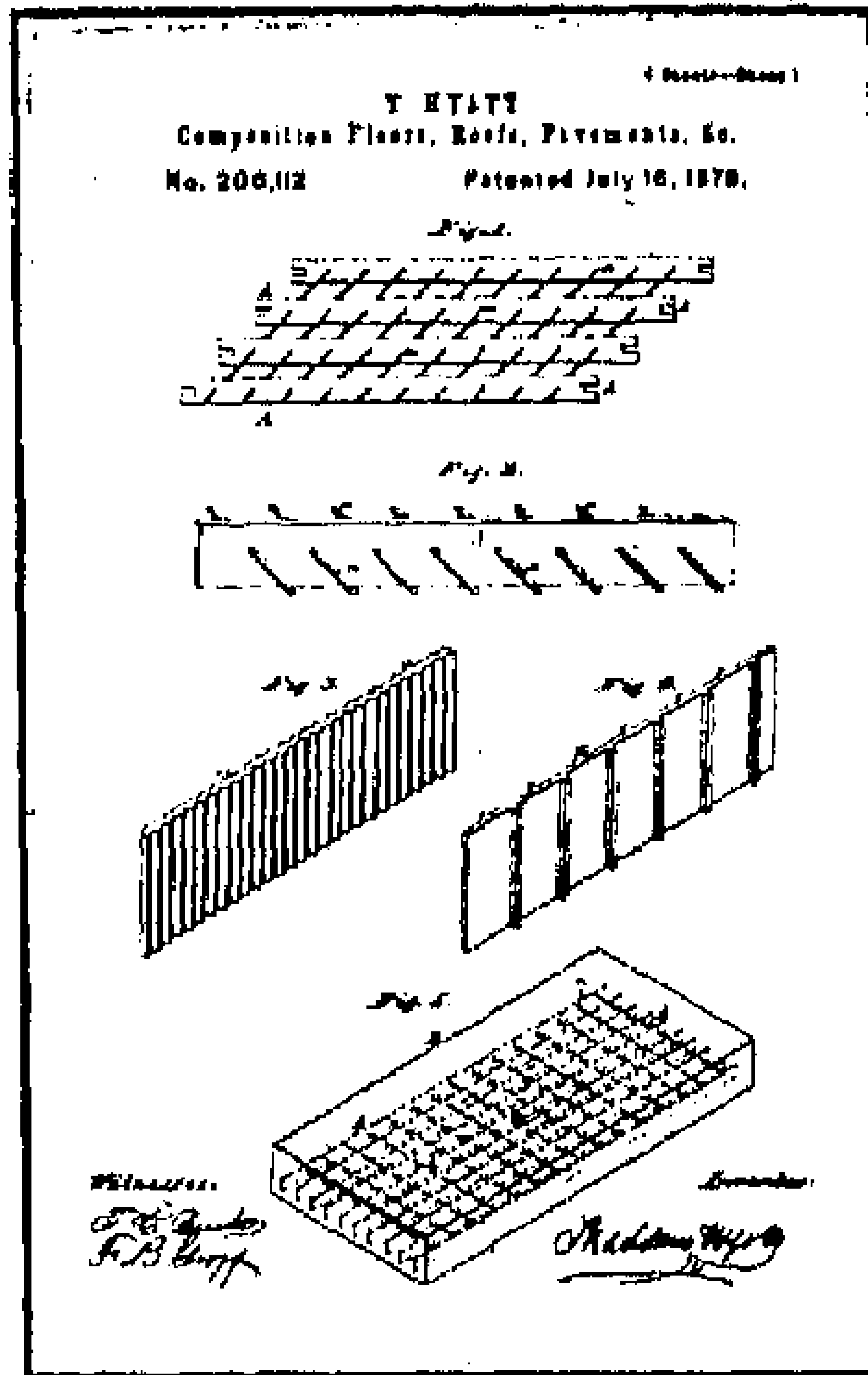
---

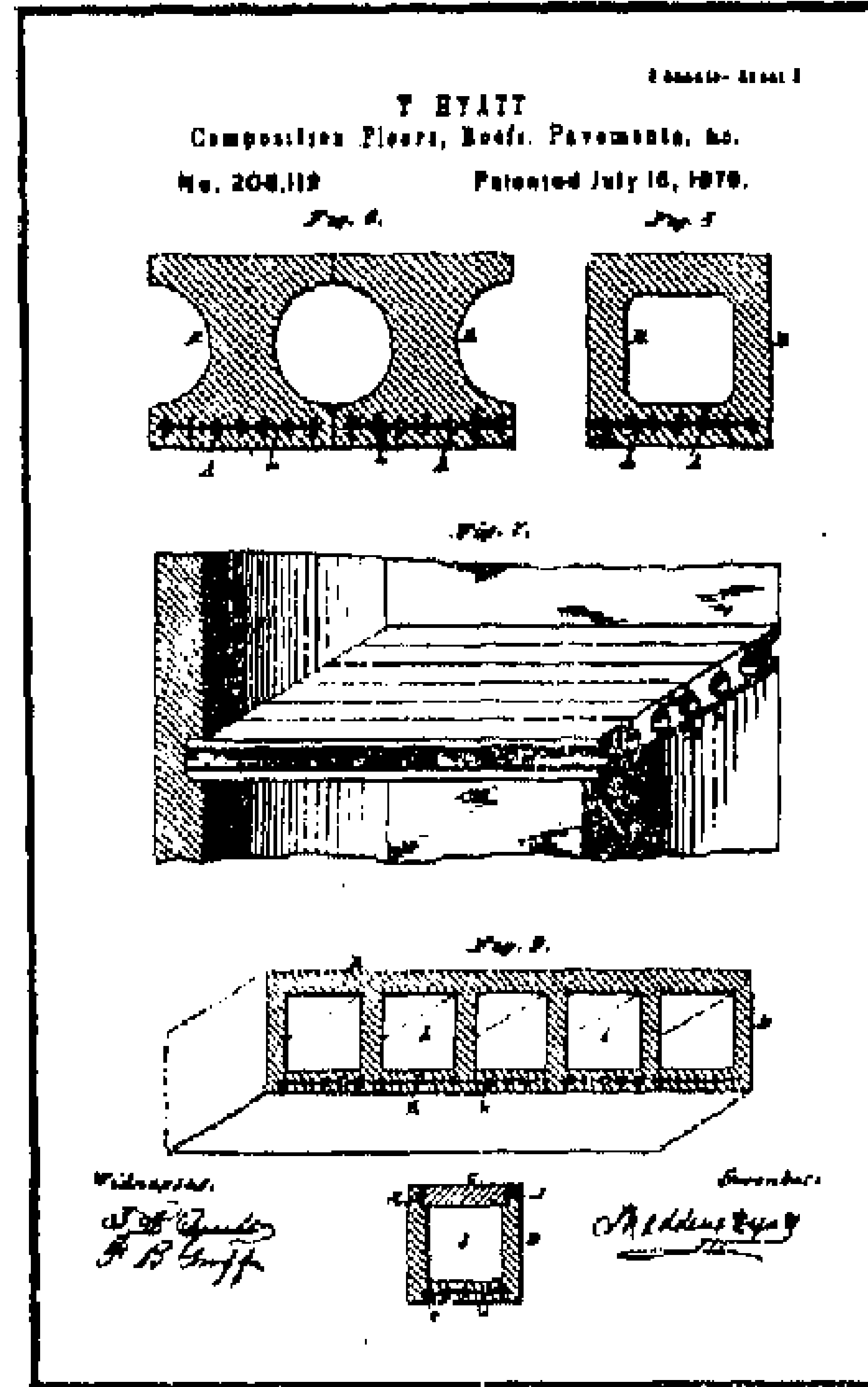
* اقترح المهندسان الفرنسيان بوليه ولودوه فى أواخر القرن الثامن عشر تكوينات معمارية تعتمد على الكرة والاسطوانة فى مشروعاتهما الخيالية لمعارض فلكية ومسارح ومدافن تذكارية بأسماك تقرب كثيرا من أسماك الصدفات القشرية . هذه المشروعات لم تأخذ طريقها للتنفيذ لعدم وجود المواد الإنشائية المناسبة .

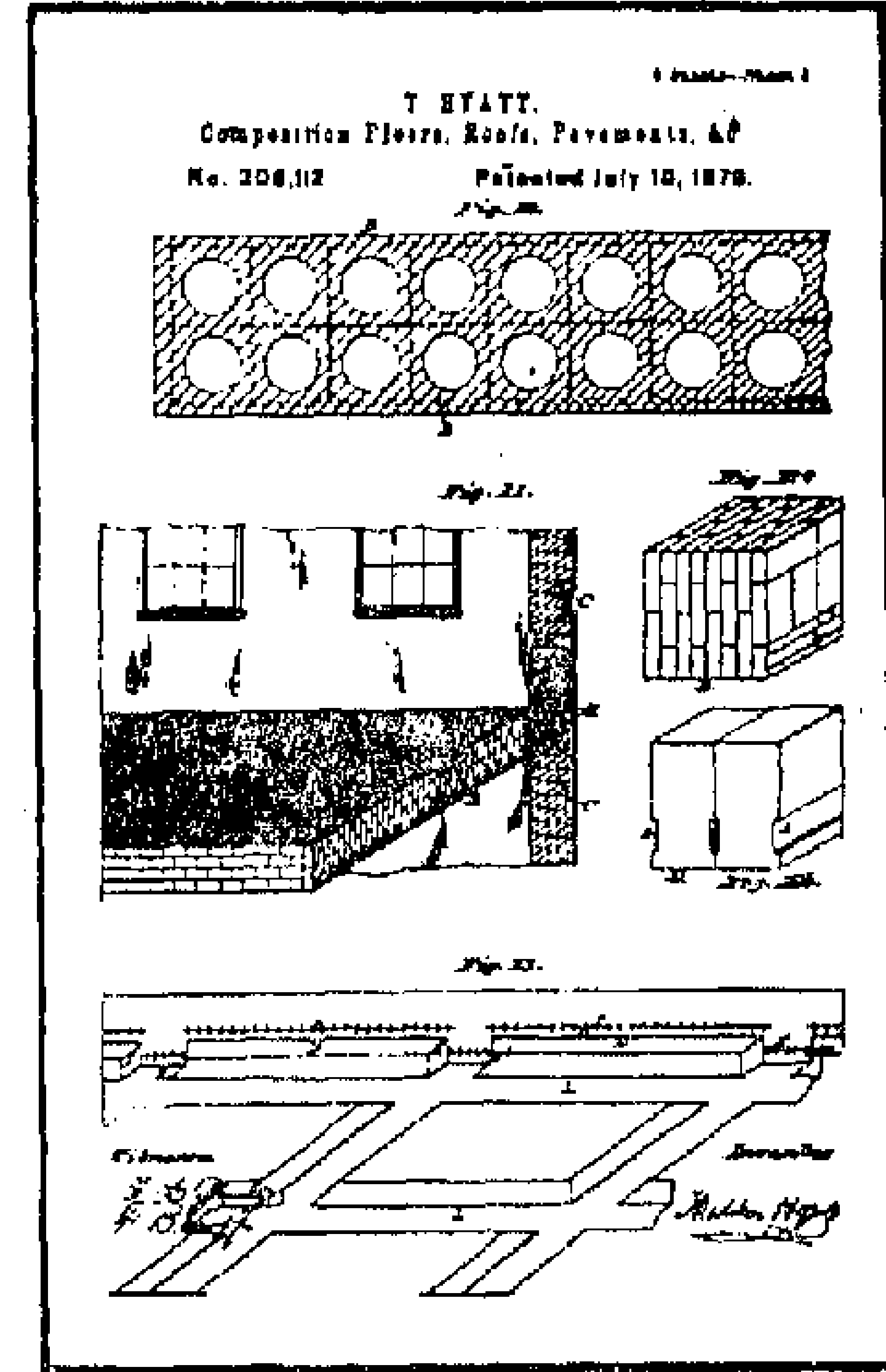
ملحق 1

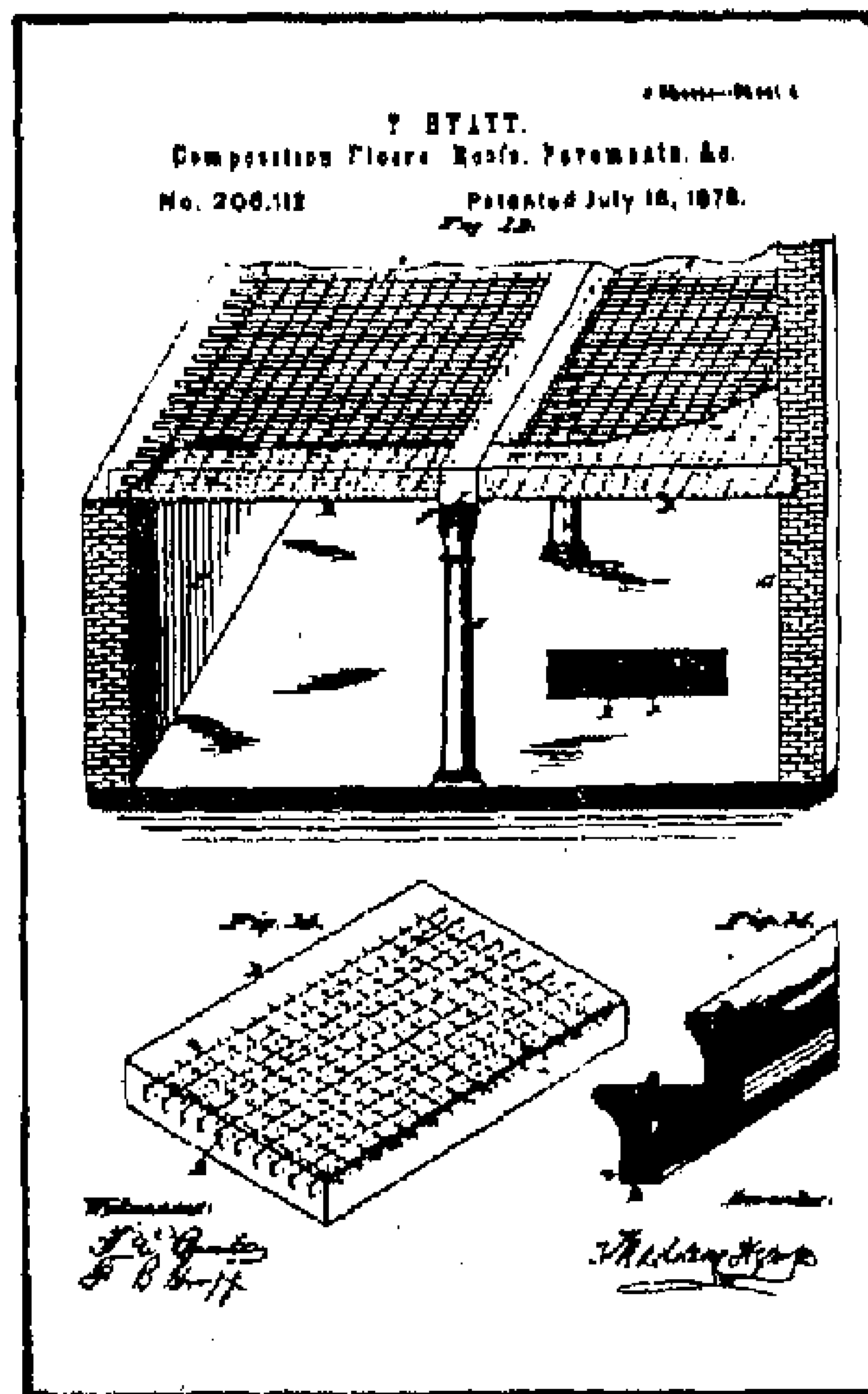
براءة اختراع أمريكية باسم ت. هايات رقم ٢٠٦١١٢

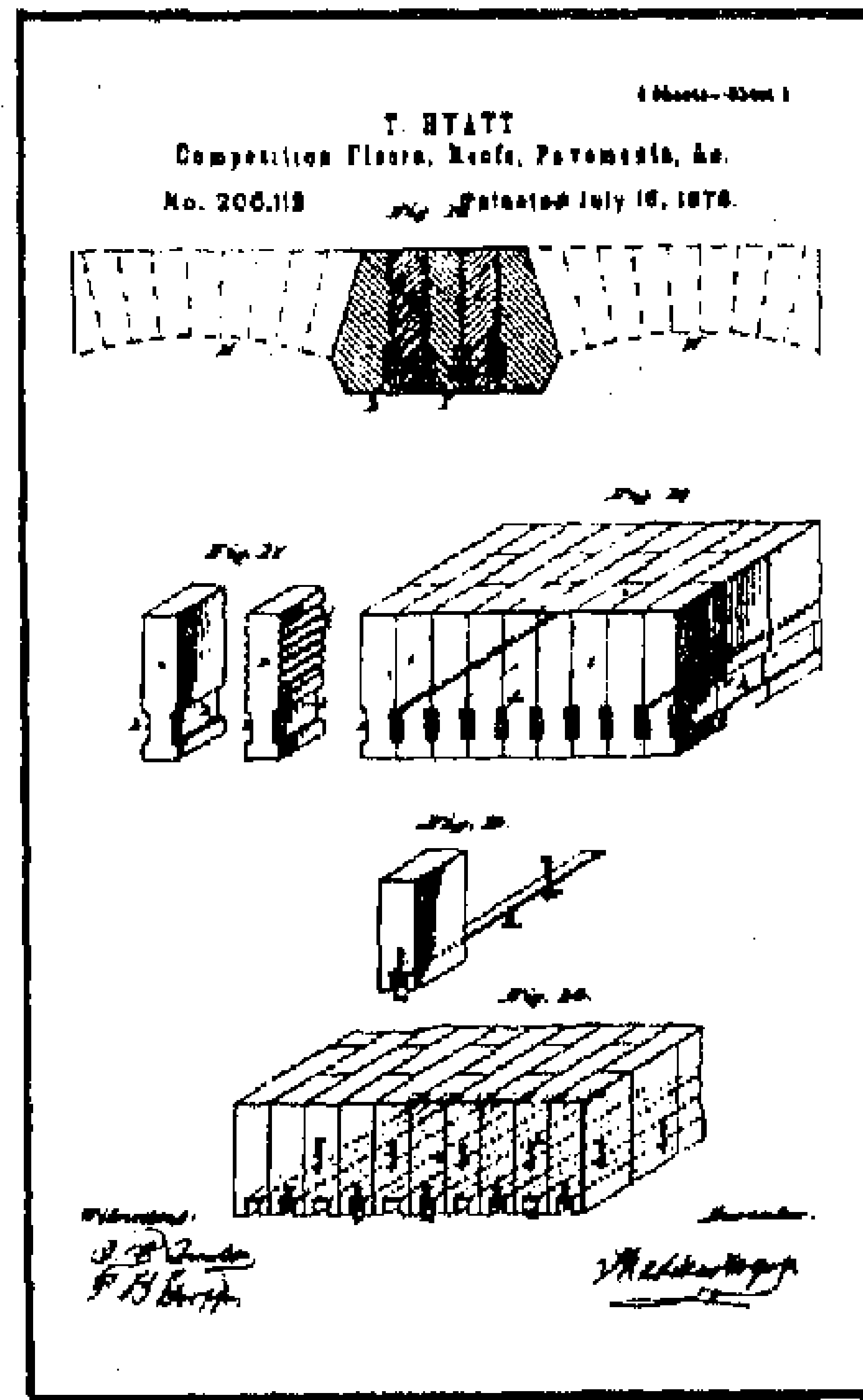
١٦ يوليو سنة ١٨٧٨

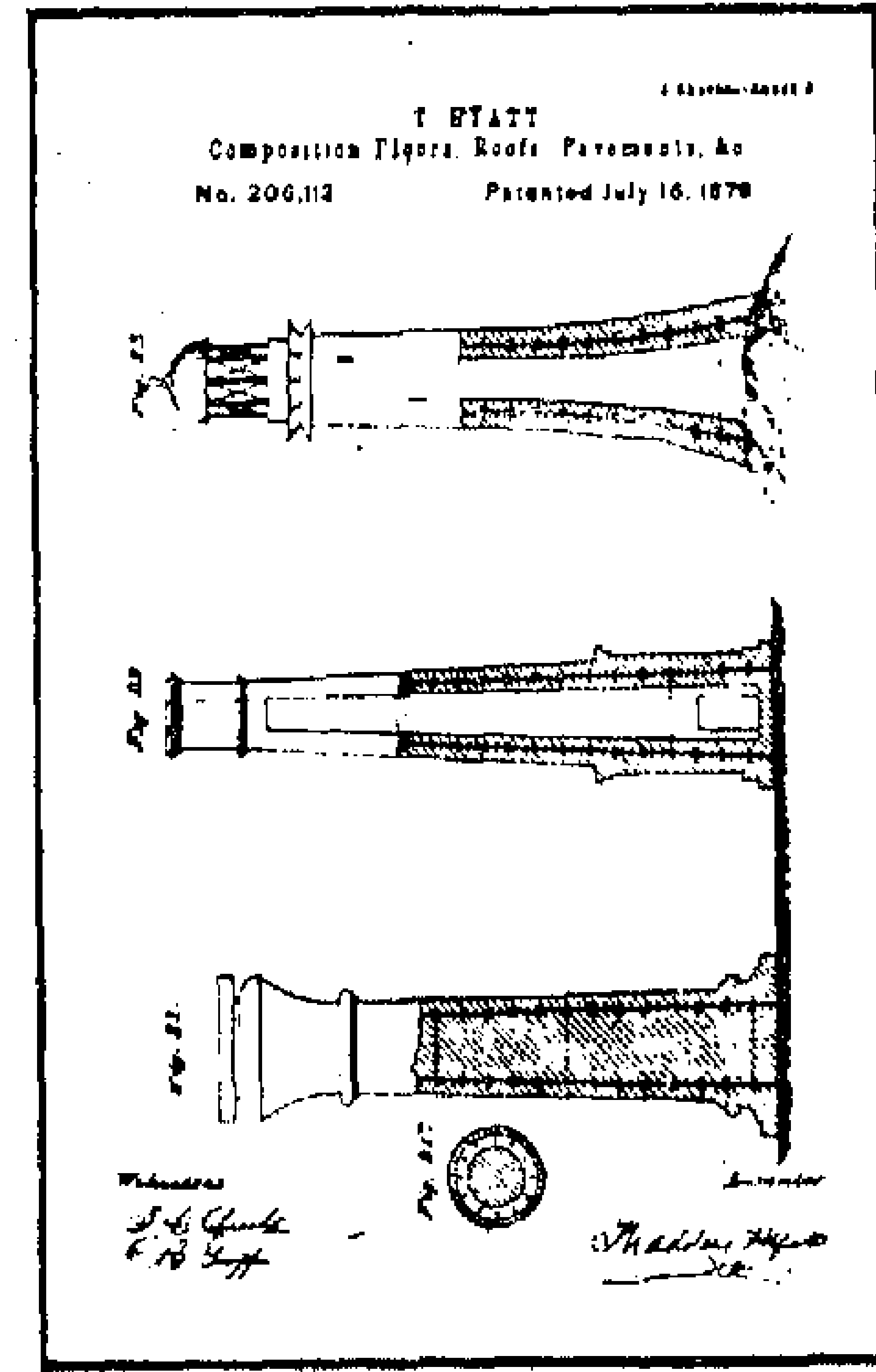












فهرس الحواشي

الفصل الأول

1. Architectural Publication Society, *The Dictionary of Architecture* (London : Thomas Richards, 1877), II, p. 125.
2. Vitruvius, BK. VIII, Ch. VII; Alberti, BK. III, Ch IX; Palladio, BK. I, Ch. IX. cf. P. Collins, *Concrete* (London : Faber & Faber, 1959) p. 19.
3. *Ibid.*, p. 20.
4. S. Giedion, *Space, Time and Architecture*, (Cambridge: Harvard University Press, 1949) p. 256.
5. J. Smeaton, *A Narrative of the Building and a Description of the Construction of the Eddystone Light-House*, (London : Longram, Hurst, Rees, Orme and Brown, 1813), p. 112.
6. *Ibid.*, p. 118.
7. G. Godwin, "Prize Essay upon the Nature and Properties of Concrete, and its Application to Construction up to the Present Period", *Transactions of the Institute of British Architects, I, Part I* (London : 1835-36), p. 15
8. F. Cointeraux, *Modèle d'une Citerne en Béton, imitant la forme d'un oeuf* (n.d.) p. 9. Cf. Collins, *Concrete*, op. cit., p. 22.
9. Rosenau, "*Boullée's Treatise on Architecture*" (London, Alec Tiranti, 1953), fig. 1-56.
10. F.M. Lebrun, "*Méthode Pratique pour l'Emploi du Béton, en remplacement de toute autre espèces de maçonneries dans les constructions en général* (1835), p. 82 et seq. Cf. Collins, *Concrete* p. 25.
11. F. Coignet, *Béton Agglomérés Appliqués ă L'Art de Construire* (1861), p. 25.
cf. *Ibid.*, p. 27.
12. H. Greeley, *Recollections of a Busy Life* (New York; J.B. Ford & Co., 1868), p. 309.
13. *Ibid*, p. 309.
14. Smeaton, *op. cit.*, p. 100.
15. S. Giedion; *op. cit.* p. 105.
16. *Ibid.*, p. 126.
17. Collins, *Concrete*, p. 29.
18. Giedion, *op. cit.*, p. 128.
19. Collins, *op. cit.*, p. 29.
20. Great Britain Patent No. 2293 (October 27, 1854), with the title. "*Construction of Fire-proof Dwellings, Warehouses and Other Buildings, or Parts of the same*".
21. Cf. M. Shand, "Steel and Concrete, A Historical Survey, "*The Architectural Review*," LXXII (Nov., 1932), p. 177.
22. W.H. Thorpe, letter to the editor, *Engineering* CXIX (May 29, 1925), p. 678.
23. Cf. Collins, *concrete*, p. 29.
24. *Ibid.*
25. *Ibid.*, p. 30.
26. Shand, *op. cit.*, p. 177.
27. Cf. a paper presented before the Western Society of Engineers on June 6, 1900 : E. Lee Heidenreich, "Monier Construction" *Western Society of Engineers Journal* (January-December 1900) p. 331.
28. *Ibid.*
29. T. Hyatt, *An Account of Some Experiments with Portland Cement Concrete, Combined with Iron, as a Building material* (London; Printed privately at the Chiswick Press, 1877).

30. *U.S. Patent No.* 216,112, July 16, 1878, Specifications of Patents, p. 719.

31. *Ibid.*

32. Hyatt, *op. cit.*, p. 15.

33. *Ibid.*, p. 19.

34. *Ibid.*, p. 20.

35. U.S. patent No. 216,112 op. cit., p. 720.

36. *Ibid.*, p. 722.

37. *Ibid.*

38. W.E. Ward "Beton in Combination with iron as Building material," *American Society of Mechanical Engineers, Transactions* 4 (1883), p. 388.

39. *Ibid.*, pp 388-89.

40. *Ibid.*, p. 391.

41. *Ibid.*, p. 392.

42. Evolution of Reinforced Concrete in Germany. *American Architect* & *Building News*, XL, No. 1616. (Dec. 15, 1906), p. 189.

43. Collins, *Concrete, op. cit.*, p. 61.

44. *Ibid.*, p. 69.

45. *Ibid.*, p. 72.

46. *The Buiider*, 1864, Vol. 22, p. 863; 1866, Vol. 24, p. 626 cf. *Ibid.*, p. 73.

47. *Ibid.*, p. 74.

48. "Reinforced Concrete at the London, *American Architect and Building News*, 90 (August, 11, 1906), p. 43.

49. *Ibid.*

50. *Cf.* C.M. Kurtz.

في تقرير قرأه للجمعية، الفنية لساحل المحيط الهادى فى ١ مارس سنة ١٩٠١ .

"Practical Applications of Iron and Concrete to Resist Transverse Strains" *American Architect and Building News*, 72 (May 25, 1901), p. 61.

51. W.M. Bailey, "Expanded-Metal as used in Fireproof Building Construction and other work," *American Architect and Building News*, 72 (April 20, 1901), p. 20.

52. G. Hill. "Reinforced Concrete Construction, American Methods," *Architectural Record*, XII Sept. 1902) p. 394.

53. Kurtz, *op. cit.*, p. 61.

54. Bailey, *op.cit.*, p. 22.

الفصل الثانى

1. Ruskin, "*The Seven Lamps of Architecture*" (London, J.M. Dent & Sons, 1440), p. 207 & 210.

2. *Ibid.*, p. 213.

3. Thomas Hope "*An Historical Essay on architecture* (1835) cf. Collins, *Changing Ideals in Modern Architecture* 1750-1950" London, Faber & Faber (1965). p. 119.

4. L. Arnaud, "Concrete in Architectural Service", *Journal of the American concrete Institute*, 35 (April 1939) p. 355.

5. Ruskin, *op.cit.*, p. 39-40-41.

6. *Ibid.*, p. 3.

7. Collins, "*concrete*" op. cit., p. 39.

8. A French Theatre in Ferro-concrete, "*Architectural Record*, 26 (Octobre, 1909). p. 270.

9. Peter B. Wight, "The Pioneer residence in America "*Architectural Record*", 25 (September, 1909), p. 360.

10. Viollet - Le Duc, "*Rational Building*", translation by Mr. Huss (New York : Macmillan & Co, 1895). p. 1.

11. César Daly, *Revue Générale de l'architecture*, 1849, p. 26 cf. Giedion. *op. cit.*, p. 148.

12. Theophile Gautier, *La Presse*, cf., Giedion, *op. cit.*, p. 149.

13. Henri van de Velde, "*Die Rolle der Ingenieure in der modernen Architektur*", Die Renaissance im modernen Kunstgewerbe (Berlin 1901) cf. Giedion, *op. cit.*, p. 151.

14. Viollet Le Duc, *op. cit.*, p. 9.

15. Ruskin, *op. cit.*, p. 35.

16. *Ibid*

17. *Ibid.*, p. 44.

18. Giedion, *op. cit.*, p. 374.

ولتفاصيل وصور أكثر عن هذه الكنيسة أنظر :

Schopfer, J. "A French Method of Cement Construction, "*Architectural Record*", 12, (September, 1901), p.p. 373-91.

19. Collins, "*Changing Ideals in modern architecture*", op. cit., p. 156.

20. A.Perret"Thoughts on Architecture"*Arkhitekture S.S.S.R.*, 4 (Jan. 1936), pp. 10-14.

الترجمة بواسطة مسز برانسون Mrs. R. Branson موجودة بمكتبة إيڤرى بجامعة كولومبيا .

21. للأطلاع على تصميمات جارنييه الكاملة للمدينةالصناعية أنظر
T. Garnier, *Une Cite Industrielle* (Paris : A. Vincent, 1918), 2 V., 164 plates.

22. Collins, *concrete, op. cit.*, p. 124.

23. Inderdonk, F.S., *The Ferro-Concrete Style*, New-York : Architectural Book Publishing Co. 1920.

24. Ilse Reese, Steiner's Goethean at Dornach, "*Progressive architecture*", Sep. 1965, p. 146-153.

25. Arnaud, *op. cit.*, pp. 355-56.

الفصل الثالث

1. M.O. Withey & G.W. Washa, *Materials of Construction*, (New York John wiley & Sons, 1954), p. XIII-26.

2. R.M.E. Diamant "*Industrialised Building*" (London Lliffe Books, 1964), p. 187.

3. C.I.B. *Innovations in Building*, (Amsterdam Elsevier Publishing Company, 1962), p. 15.

4. Cf. Hajnal—Konyi, *Concrete, New Ways of Building* (London, The architectural Press, 1955), p. 19.

5. Shand, *op. cit.*, p. 176.

6. J.C. Pearson, "Comments on changes in Cement Specifications & Concrete Practices during the past 25 years" *Journal of the American Concrete Institute*, 38, (April 1948), p. 707.

7. K. Hajnal-Konyi, *op. cit.*, p. 15.

8. *Ibid.*, p. 25.

9. H. Rohfors, "Sweden", *Concrete and Constructional Engineering*, 51(January 1956),p.159.

10. Professor M. Ross. "Switzerland", *Concrete and Constructional Engineering*,51 (January 1956), p. 197.

11. *Ibid.*, p. 199.

12. *Ibid.*, p. 196.

13. E. Sigalov, S. Strongin, "*Reinforced Concrete*, (Moscow, Peace Publishers), pp. 29-38.

14. H. Giese, *A Practical Course in Concrete* (Chicage : Portland Cement Association, 1948), p. 16.

15. National Ready-Mixed Concrete Association, (*Control of quality of Ready - Mixed Concrete* (Washington : National Ready-Mixed Concrete Association, 1953),Publication No. 44, p. 3.

16. لتفاصيل أكثر استشر
Specifications and Test Methods for Ready-Mixed Concrete (Washington, National Ready-Mixed Concrete Association, Dec. 1953) Publication No. 47, pp. 1-58.

17. Withey & Washa, *op. cit.*, p. xiv-30.

18. V. Turkin, "U.S.S.R." *Concrete and Construction Engineering*, 51 (Jan. 56), p. 151.

19. انظر الجدول فى *Innovations in Building*, *op. cit.*, p. 6.

20. *Ibid.*, p. 41.

21. Diamant, Vol. I, *op. cit.*, p. 16.

22. *Ibid.*, pp. 23-25.

23. *Ibid.*, pp. 26-30.

24. *Ibid.*, pp. 38-40.

25. *Ibid.*, Vol. 2, pp. 42-44.

26. *Innovations in Building*, op. cit., p. 9.

27. Diamant, Vol. II, *op. cit.*, pp. 30-33.

28. *Ibid.*, op. cit. p. 15.

29. *Ibid.*, Vol. I, op. cit., pp. 123-126.

30. Röhfers, *op. cit.*, p. 159.

من بين الأمثلة الأخرى فى الولايات المتحدة الكرات (I) سابقة الإجهاد (نسبة عمق إلى بحر ١ : ٨) الموضوعة فوق

أعمدة مصبوبة على الموقع فى مخازن Charlotte Grocers Mutual Warehouse بمدينة شارلوت بولايه كارولينا الشمالية

Cf. Progressive Architecture (January, 1955), p. 58.

31. Röhfors, *op. cit.*, p. 159.
32. A precast Concrete Roof Truss, *Architect and Building News*, 166 (April 11, 1941), pp. 28-29.
33. L. Michaels, *Contemporary Structure in Architecture* (New York, Reinhold Publishing Corporation, 1950), p. 29.
34. Diamant Vol. I, *op. cit.*, pp. 3-6.
35. *Engineering News Record*, Octobre, 1952, 1149, pp. 39-40).
36. *Progressive Architecture*, 35, November 1954, p. 73).
37. Onderdonk, *op. cit.*, p. 39-41.
38. P.L. Nervi, *Structures* (New York : F.W. Dodge, 1956), p. 82.
39. Diamant, Vol. I, *op. cit.*, p. 70-71.
40. *Ibid.*, pp. 105-108.

الفصل الرابع

1. Cf. Max Bill, *Robert Maillart* (Switzerland : Les Editions d'Architecture SA, 1949), p. 15.

   من مقالة لروبرت مايار فى مجله

   Schweizersche Bauzeitung.
2. Bill, *op. cit.*, p. 61.
3. M. Solvadori "Thin Shells." *Architectural engineering* (New York : F.W. Dodge Corporation, 1955), p. 15.
4. C. Whitney, "Reinforced Concrete This Shell Structures", *Journal of the American Concrete Institute* (Feb. 1953) Table, p. 524.
5. *Ibid.*
6. Jürgan Joedicke "*Shell Architectore*" (London : Alec Tiranti ltd. 1963), p. 11.
7. L. Coff. Prestressed Concrete — A New Frontier, *Engineering News Record* (September 1, 1949).
8. Cf. F.W. Walley, *Prestressed Concrete. Design & Construction* (London: Her Majesty,s Stationery office, 1953), p. 1.

   لتفاصيل أكثر انظر
9. F. Leonhardt "Continuous Prestressed Concrete Beams" *Journal of the American Concrete Institute* (March, 1953). pp. 617-34.
10. لتفاصيل أكثر انظر

    E.R. Schofield, "Construction Starts on Prestressed Concrete Bridge in Philadelphia "*Civil Engineering*" (July, 1949), pp. 472-74.
11. C. Dobell "Design Progress in Prestressed concrete" *Progressive Architecture*, 30 (October 1949). pp. 84-87.

احتمالات هذه الاسقف جربت فى مركز تجارى أنشأ لشركة جوردان مارش (Jordan Marsh) فى بوسطن فى سقف دائرى بقطر ٢٢٢ قدماً وينتظر استعمالها لتغطية حظائر طائرات وحليات ومتاحف .

الفصل الخامس

1. H.R. Hitchcock, *Latin American Architecture* (New York Museum of Modern Art, 1955), p. 20.
2. G. Hill, "Reinforced Construction American Methods", *Architectural Record*, 12 (Sept, 1902), p. 393.
3. *Ibid.*
4. *Ibid.*, pp. 395-94.
5. Shell Concrete for Spanning Large Areas, *Architectural Forum*, 91 (Dec. 1949), p. 106.
6. E.M. Rensaa, "Precast Reinforced Concrete Building Frame," *Engineering Journal* 35. (May 1952), p. 481.
7. *Ibid.*
8. استعمال كرات الصلب الإنشائية يرفع سعر السقف ١٥٪ أعلى من تكاليف الوحدات الخرسانية الجاهزة .

   Cf. Engineering News Record, 149 (August 28, 1952), p. 43.
9. C.I.B. Congress 1962. *op. cit.* p. 29.

10. Turkin, *op. cit.*, p. 149.
11. C.I.B. Congress 1962, *op. cit.*, Table I. p. 3.
12. *Ibid.*, p. 6.
13. *Ibid.*, p. 7.
14. H.E. Steinberg, "Great Britain," *Concrete and constructional Engineering*, 51 (Jan. 1956) pp. 31-32

مبنى البريد العام على شارع نيو جيت New Gate بلندن المبنى عام ١٩٠٩ مثل وحيد للاستعمال المبكر للخرسانة المسلحة فى المكاتب الحكومية الانجليزية

15. C.I.B. Congress 1962, *op. cit.*, p. 65.
16. C.F. Marsh, *Reinforced Concrete* (London : Archibald Constable 1905), cf. Hanjnal-Konyi, *op. cit.*, p. 68.
17. Hajnal Konyi, *op. cit.*, p. 60.
18. *Ibid.*

الفصل السادس

1. Salvodori, *op. cit.*, p. 4.
2. *Architectural Engineering*, *op. cit.*, p. 54.
3. Salvadori & Heller, *Structure in Architecture* (Prentice - Hall Inc. Englewood cliffs, New Jersey 1964), p. 346.
4. *Ibid.*, p. 321.

الفصل السابع

1. W.F. Cassie & H.J. Napper, *Structure in Building* (London; Architectural Press 1952), p. 3.
2. J. Joedicke *op. cit.*, p. 136.
3. H. Windlin, *Modern Architecture in Brazil* (New York, Rienhold), p. 188-189.
4. J. Joedicke, *op. cit.* pp. 126-130.
5. J. Richard, "*New Building in the Commonwealth*, (London, The Architectural Press 1961), p. 24-5.
6. J. Joedicke, *op. cit.*, p. 108.
7. Structure, *Progressive Architecture* June 1965, p. 183.
8. J. Joedicke, *op. cit.*, p. 172.
9. *Ibid.*, p. 206-9.

الفصل الثامن

1. Boyd G. Anderson, "Cantilever frames support thin shell roofs", *Civil Engineering* (August, 1952), pp. 36-39.
2. R. Zaborowski VO. Gruenwold, "Monolithic Concrete Seaplane Hangars", *Civil Engineering* (August, 1944) p. 67.
3. Cf. C.W. Whitney, "Shell Design Adaptable to many uses, "*Civil Engineering*" (Feb., 1953), p.38
4. Boyd G. Anderson, *Concrete Skyscraper* (a pamphlet issued by Universal Atlas Cement Company, New York).
5. *Architectural Engineering, op. cit.*, p. 56, comments by P. Weidlinger.

الفصل التاسع

1. Michaels *op. cit.*, pp. 68-69.
2. Bicycle-wheel Spans 240 ft, (*Architectural Forum*, May 1960), p. 145.
3. Fred Severud & R.A. Corbelletti, "Hung Roofs," *Progressive Architecture*, 37 (March, 1956), pp. 102-06.

وقد اقترح المهندسان Harrison & Abramovitz
منشأ مشابهاً لشركة Corning Glass Works.

4. Large Precast Structural Concrete Arches, *Rock Products*, 55 (July 1952), pp. 126-27.
5. Michaels, *op. cit.*, p. 19.
6. L. Coff. "Prestressed Concrete Simplified" *Architectural forum* 99 (August 1953), p. 142.

الفصل العاشر

1. Vivus and Krieger, *The Problem of Aesthetics* (New York & Co., Inc. 1952), p. 259.
2. *Ibid.*, p. 286.
3. W. Prill, *Aesthetics Judgement* (New York, W. Crowell & Co., 1929), p. 109.
4. Cf. Onderdonk, *The Ferro-Concrete Style.* (New York : Architectural Book Publishing Co. 1928), p. 73.
6. Ibid., *op. cit.*, pp. 79-81.
5. لتفاصيل أكثر عن الموضوع استشر W.S. Gray & H.C. Childe, *Concrete surface Finishes, Renderings & Terrazzo* (Westminster : Concrete Publications, Ltd., 1943).
7. Betty Campbell "Precast Concrete slabs- pp. 244-249.
8. J.G. Lippincott, *Design for Business* (Chicago : Paul Theobald, 1947), p. 98.
9. W.D. Foster, "A French Expression of Modern Architecture," *Architectural Record* (August 1924). p. 100.
10. Joedicke, *op. cit.*, p. 127.

الفصل الحادى عشر

1. F.L. wright, "In the Cause of Architecture," *Architectural Record,* 63 (April, 1928), p. 351.
2. Cf. Collins, *Concrete, op. cit.*, p. 143.
3. لرسومات هذه المدينة ارجع إلى T. Garnier, *Grands Traveaux de la ville de Lyons* (Paris : Massin), p. 192-97.
4. T. Hamlin, *Forms and Functions of the 20th Century,* II (New York : Columbia University Press, 1952), p. 61.
5. A. Perret, *op. cit.*, p. 7.
6. A. Perret, "Contribution a une Théorie de L'architecture,"*Das Werk,* 34 No. 2 (February, 1947), p. 55.

فهرس أبجدى

الأرقام ما بين القوسين تشير إلى الصفحات التى تحتوى على أشكال مصورة أو مرسومة

أمريكا

انجلترا

الإنشاء

مكسيكو

كنيسة

نشر هذا الكتاب بالاشتراك

مع

مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر

القاهرة — نيويورك

أغسطس سنة ١٩٧٠



على أحمد رأفت

معمارى مصرى شاب يعمل كأستاذ بجامعة القاهرة بالإضافة إلى مزاولته لمهنة الهندسة المعمارية وذلك بعد أن أمضى خمس سنوات فى الدراسة بالولايات المتحدة الأمريكية .

وقد حصل الدكتور على رأفت على بكالوريوس العمارة من جامعة القاهرة عام ١٩٤٩ ثم قام بالتدريس فى كلية الهندسة حتى سفره عام ١٩٥٢ وذلك على منحة فولبرايت للدراسة بأمريكا .

وقد حصل على شهادة الماجستير من جامعة متشجن عام ١٩٥٣ والدكتوراه فى العمارة من جامعة كولومبيا عام ١٩٥٧ . وأثناء وجوده بكولومبيا كان على صلة وثيقة بالبروفسير ماريو سلفادورى رئيس قسم الهندسة المعمارية وذلك فى دراساته الخاصة بالخرسانة المسلحة .

وقد ظهرت الطبعة الأمريكية الأولى لكتاب الدكتور على رأفت :

"Reinforced Concrete in Architecture"

عام ١٩٥٨ عن طريق الناشر الأمريكى رينهولد بنيويورك وقد تبعته الطبعة الروسية بموسكو عام ١٩٦٣ .

وأثناء وجوده بأمريكا تعاون الدكتور على رأفت مع مكتب بيركنز وويل ومكتب أمان وويتنى . والمكتبان قاما بمجهودات كبيرة بالخرسانة المسلحة فى الولايات المتحدة . كما قام الدكتور على رأفت بعدة أعمال معمارية بالخرسانة المسلحة داخل وخارج الجمهورية العربية المتحدة .